ТАДЖИКСКИЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ШИРИНШОХ ШОТЕМУР

На правах рукописи

УДК: 631.363:631. 22.8: 636.32/38(575.3)

ЗАРИФЗОДА АСРОР АЗИЗ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО РАЗДАТЧИКА ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВ ОВЦАМ

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.13.1. Технология и средства механизации сельского хозяйства

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Умирзоков А.М.

Душанбе 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень сокращений и условных обозначений …… 4
ВВЕДЕНИЕ ……... 5
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ …….. 9
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ …….. 13
1.1 Анализ способов кормления овец …….. 13
1.2 Анализ средств механизации раздачи гранулированных кормов на овцеводческих фермах и комплексах …….. 19
1.3 Конструктивно – технологические схемы существующих кормораздатчиков для овец …….. 32
1.4 Цель и задачи исследования ……..37
Выводы по главе 1…….. 35
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАЗДАЧИ КОРМОВ ……..……... 39
2.1 Потери напора на пневматическом кормораздатчике ……... 39
2.2 Потери напора на отдельных участках кормораздатчика …… 42
2.3 Теоретическое обоснование процесса перемещения гранул в кормораздатчике прямоугольной формы, разделенной на две части при помощи фильтрующих элементов …….…… 46
2.4 Анализ затрат энергии на пневматическом кормораздатчике …….. 53
Выводы по главе 2 …….…….. 55
Глава 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ …….…….. 56
3.1 Программа и методика лабораторного исследования ……..... 56
3.2 Описание экспериментального образца пневматического кормораздатчика ……..……..... 64
3.3 Планирование и обработка результатов многофакторного эксперимента …….……..... 69

3.4 Оптимизация рабочего процесса пневматического раздатчика гранулированных кормов ……..... 84
3.5 Описание и исследование области оптимума …… 93
Выводы по главе 3 ……... 101
Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ……..... 102
4.1 Характеристика кормов ……102
4.2 Усовершенствованная конструкции пневматического раздатчика гранулированных кормов …….. 104
4.3 Оценка энергоёмкости пневматического кормораздатчика ……..108
4.4 Оценка неравномерности раздачи кормов пневматическим кормораздатчиком …….. 113
Выводы по главе 4 ……..... 115
Глава 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ РАЗДАЧИ ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВ ……117
5.1 Методика оценки энергетической эффективности пневматической раздачи гранулированных кормов ……..... 117
5.2 Экономическая эффективность применения пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам ……..124
Выводы по главе 5 …….. 129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ …… 131
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ…….133
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙЩЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ……133
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ……. 134
ПРИЛОЖЕНИЯ …….152

Перечень сокращений и условных обозначений

ВНИИОК	– Всесоюзный научно -исследовательский институт овцеводства и козоводства
ГНУ ВИЭСХ	– Всесоюзный научно-исследовательский институт животноводства Южной зоны СССР
КПД	– Коэффициент полезного действия
КРС	– Крупный рогатый скот
МИОТ	– Московский институт охраны труда
МИС	– Машиноиспытательная станция
НТД	– Нормативно-технический документ
ООО	– Общество ограниченной ответственности профессионального образования
РТМ	– Руководящий технический материал
СНГ	– Содружество независимых государств
США	– Соединенные штаты Америки
ТАУ	– Таджикский аграрный университет
УзНИИЖ	– Узбекский научно-исследовательский институт животноводства
ФГОУ ВПО	– Федеральное государственное образовательное учреждение
ФРГ	– Германская федеративная республика электрификации сельского хозяйства

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В соответствии с программой развития агропродовольственной системы и устойчивого сельского хозяйства на период до 2030 года, нацеленной на реализацию целей и задач национальной стратегии развития на период до 2030 года, которая отводит сельскому хозяйству определяющую роль в обеспечении продовольственной безопасности.

В Программе развития агропродовольственной системы и устойчивого сельского хозяйства на период до 2030 года отмечается, что: «В течение последних двух десятилетий сельскохозяйственная отрасль оставалась одним из основных двигателей, продвигающий экономику Таджикистана. Несмотря на ограниченность природных ресурсов и подверженность климатическим угрозам, рост сельскохозяйственной отрасли составил в среднем на 6,4 процента в течение 2010-2019 годов и на 8,8 и 6,6 процента в 2020 и 2021 годах соответственно. Рост сельскохозяйственной отрасли в основном обусловлен продвижением земельных реформ, ускорением диверсификации производства и в некоторой степени увеличением производительности продукции растениеводства и животноводства» [90, с. 2 (раздел 2 пункт 6)].

В этом же документе представлен анализ ситуация в отдельных отраслях современного сельскохозяйственного производства Таджикистана: «Во всех формах хозяйствования республики увеличилось поголовье крупного рогатого скота на 424 тысяч голов, овец и коз на 1319,9 тысяч голов, птиц на 6266,6 тысяч, лошадей на 7,1 тысяч, яков 3 тысячи голов, пчелосемей на 61,7 тысячу, соответственно увеличилось производство мяса на 165,7 тысяч тонн, молока 264,3 тысячи тонн, яиц 761,8 миллион штук, шерсти на 1,8 тысяч тонн, меда на 1,1 тысяч тонн. С развитием рыбного хозяйства по всей республики увеличилось количество рыбных ферм, которое достигло 366 единиц, производство рыбного мяса увеличилось в 9 раз» [90, с. 3 (раздел 2 пункт 9)].

Раздача кормов был и остается наименее механизированным, автоматизированным и трудоёмким процессом в животноводстве.

До сих пор для решения вопросов, связанных с повышением уровня механизации и автоматизации процессов раздачи кормов, считающихся наиболее энергоемким и трудоёмким в животноводстве, широкое применение нашли такие кормораздаточные устройства, как мобильные КТУ– 10, КУТ – 3,0А, КУТ–3,0БМ (на базе автомобиля), РММ–5,0 и самоходные раздатчики: бункерные кормораздатчики, стационарные кормораздатчики ТВК – 80А, РС – 5А и РКА – 1000 [49].

Мобильные кормораздатчики типа КТУ–10, имея хорошие транспортные свойства, неравномерно и со значительными отклонениями от заданной нормы, распределяют корм по фронту кормления [38,39]. Кроме того, они практически не применимы для раздачи концентратов, кормосмесей, гранул и брикетов.

А.П. Конаков, Ю.Н. Юдаев и Р.Б. Козин отмечают, что: «…наиболее эффективна раздача измельченных кормов, рассыпных кормосмесей и гранул при помощи стационарных и мобильных кормораздатчиков. Стационарные раздатчики над кормушкой позволяют эффективнее использовать производственную площадь помещения. Сочетание мобильных и стационарных раздатчиков с применением комбинированных кормушек обеспечивает полную механизацию процесса раздачи. Правильная расстановка дополнительного оборудования в период окота способствует повышению культуры обслуживания, облегчает труд чабанов.

Хорошо зарекомендовал себя процесс раздачи рассыпных кормов с помощью набора серийного оборудования. С наружной торцевой стороны овчарни устанавливают два бункера Б-6 или БСК-10 с нориями НЦГ-10. В эти бункера мобильными раздатчиками периодически загружают корма. Из бункеров шнековым транспортером корм подается в желоб над оцарками и цепным транспортером перемещается в самокормушки.

Зоотехнические требования к машинам и оборудованию в основном аналогичны указанным в разделе “Кормление крупного рогатого скота”.

Существенным отличием являются передвижные ограждения, которые служат для образования в овчарне тепляка с родильным отделением, секций, групповых и индивидуальных клеток.

Автоматические групповые поилки для ягнят на выпойке заменителем овечьего молока должны обеспечивать свободный доступ молодняка и зоогигиенические требования.

На овцеводческих комплексах, фермах и площадках применяют стационарные и мобильные кормораздатчики.

Из стационарных раздатчиков нашли широкое применение ТВК-80 и его модификации, К00-5.08.000, РК-50 — ленточный раздатчик кормов и др.» [49, с. 62].

При этом стационарные кормораздатчики типа ТВК–80 допускают сепарацию корма, не имеют возможности раздачи полнорационных кормосмесей, гранул и брикетов.

Серийные кормораздатчики РКА–100, РКА–500 и другие дают отклонение от нормы выдачи - 23…38% [38,39], хотя и отвечают требованиям раздачи сухих (рассыпных и гранулированных) кормов. Они имеют следующие недостатки:

- завышенная продолжительность времени раздачи;
- выдача корма в несколько циклов;
- несовершенство дозирующего аппарата и т.д.

Кормораздатчики стационарные КОО – 5.08, входящие в комплект «Овцеводческий–5» предназначены только для раздачи грубых кормов и силоса, громоздки и металлоемки, не пригодны для раздачи концентрированных смесей и гранул [47].

Актуальность вопросов совершенствования рабочего процесса и обоснования параметров пневматического раздатчика гранулированных кормов овцам, связана комплексной механизаций и автоматизацией процесса раздачи кормов, регулированием нормы кормления, равномерности выдачи и снижением потери сбалансированных кормов, при котором достигается

экономическая, экологическая и энергетическая эффективности процесса кормления.

Другим немаловажным преимуществом пневматической раздатчиа гранулированных кормов овцам является возможность организации более полноценного и сбалансированного кормления животных путем регулирования состава и содержания питательных веществ в рационе кормления овец, что безусловно приводит к улучшению поедаемости и усвояемости кормов.

Обозначенная проблема свою актуальность, в тоже время нуждается в дальнейшем изучении вопросов совершенствования рабочего процесса и обоснованием параметров пневматического раздатчика гранулированных кормов овцам с учетом указанных недостатков как мобильных, так и стационарных кормараздающих устройств, что дает предпосылки для разработки и исследования новых корморздатчиков, отвечающих зоотехническим требованиям по кормлению овец гранулированными кормами.

Степень изученности научной темы. Значительный вклад в вопросы, связанные с механизированными процессами раздачи кормов внесли ученные: В.П. Горячкин, С.В. Мельников, В.Г. Коба, В.П. Карпов, П.А. Воронин, Н. Шамсиев, А.М. Умирзоков, Б.Р. Ахмадов, С. Тиллоев, А.А. Гафаров, Ю.А. Макшанцев, К.К. Карибаев, К.М. Байбульсинов и др.

Исследования в области повышения эффективности раздачи гранулированных кормов изложены в трудах таких ученных как: А.С. Кеммар, А.В. Китун, Р.Х. Масиев, В.П. Чиченов, Ф.С. Лихачев и др.

Различные аспекты проблемы раздачи гранулированных кормов освещены в трудах зарубежных ученных: K.C. Behnke, G. Boumans, D.J. Buckley, P.B. Lynch, M.Kelly, J.M. O'Connell, Z. Zhang, J. Liu, G. Flachowsky, A.Garcia, Lachica J., F. Martinez-Pastor, A. Bollum, D. Nelson и др.

Связь исследования с программами (проектами) и научной тематикой. Диссертационная работа соответствует тематическому плану НИР Таджикского аграрного университета им. Ш. Шотемур по теме «Разработка и усовершенствование конструкции технических средств (от 25 февраля 2017 г.,

№10), Национальной стратегии развития Республики Таджикистана на период до 2030 года (от 1 декабря 2016 года, № 636), Постановлению Правительства Республики Таджикистан «О Комплексной программе развития отраслей животноводства, птицеводства, рыболовства и пчеловодства в Республике на 2023-2027 годы (от 1 марта 2023 года, № 52), Программе развития агропродовольственной системы и устойчивого сельского хозяйства на период до 2030 года (от 1 марта 2023 года № 54).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования. Повышение эффективности процесса раздачи гранулированных кормов овцам путем совершенствования рабочего процесса и обоснования параметров пневматического кормораздатчика.

Задачи исследования. Для реализации указанной цели предусматривается решение следующих задач:

– обосновать конструктивно-технологические параметры пневматического раздатчика гранулированных кормов овцам;

– разработка математических моделей процессов пневматической раздачи гранулированных кормов овцам;

– оптимизации рабочих режимов работы пневматического раздатчика гранулированных кормов;

– оценка энергетической эффективности процесса пневматической раздачи гранулированных кормов с учетом конструктивных особенностей и условий эксплуатации кормораздатчиков;

– оценка показателей технико-экономической эффективности пневматического кормораздатчика.

Объектом исследования являются рабочие процессы и параметры пневматического раздатчика гранулированных кормов овцам.

Предметом исследования являются закономерности изменения энергетических и технико-экономических показателей процесса пневматической раздачи кормов.

Теоретической основой исследования послужили работы отечественных и зарубежных ученых по вопросам совершенствования рабочего процесса и обоснования параметров пневматического раздатчика гранулированных кормов овцам, обоснованные конструктивно -технологические параметры и теория рабочего процесса пневматического кормораздатчика, атакже аналитические зависимости и математические модели оценки энергетических и технико-экономических эффективностей раздачи гранулированных кормов овцам.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

– разработана конструкция раздатчика гранулированных кормов и обоснована методика оценки качества его работы;

– получены математические модели совершенствования рабочего процесса и обоснования параметров пневматического раздатчика гранулированных кормов овцам;

– обоснованы показатели энергетической и технико-экономической эффективности пневматического кормораздатчика, как основа для внедрения в производство с учетом их адаптации к условиям эксплуатации.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в разработки аналитических зависимостей и математических моделей оценки энергетических и технико-экономических эффективностей раздачи гранулированных кормов овцам. Применение пневматического кормораздатчика обеспечит повышение качества и эффективности раздачи гранулированных кормов в овцеводческих фермах, и снижение энерго- и металлоёмкость конструкции, а также снижение затрат ручного труда. Результаты исследований внедрены в ООО им. Л. Муродова г. Гиссар.

Положения, выносимые на защиту:

-конструктивно-технологические схемы пневматических кормораздатчиков;

- математические модели для обоснования показателей эффективности функционирования пневматических раздатчиков гранулированных кормов;

- оптимальные конструктивные параметры и режимы работы пневматического кормораздатчика и показатели его эффективности.

Степень достоверности результатов диссертации подтверждена использованием основных методов теории раздачи гранулированного корма, методов построения физических и математических моделей, методов статистической обработки эмпирических данных с применением компьютерного моделирования в среде Excel, Matlab, Mathcat и др. Результаты исследований по совершенствованию технологического процесса транспортирования и обоснования параметров пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам применяются в учебном процессе в ТАУ им. Ширинщох Шотемур, внедрены и используются в ООО им. Л. Муродова города Гиссар.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Область исследования диссертации и креативные разработки по всем пунктам научной новизны соответствуют паспорту научной специальности 2.13.1. Технология и средства механизации сельского хозяйства (пункты: 1. Исследование свойств сельскохозяйственных сред и материалов, продуктов растениеводства и животноводства как объектов обработки (технологических воздействия), транспортирования, хранения; 6. Исследование условий финиширования сельскохозяйственных и мелиоративных машин, агрегатов, отдельных рабочих органов и других средств механизации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, в т.ч. с применением альтернативных видов топлива; 7. Разработка методов оптимизации конструкционных параметров и режимов работы технических систем и средств в растениеводстве и животноводстве по критериям эффективности ресурсосбережения технологических процессов; 10. Разработка и совершенствование методов, средств испытаний, контроля и управления качеством работы средств механизации производственных процессов в растениеводстве и животноводстве).

Личный вклад соискателя ученой степени в подготовке диссертации заключается в разработке, а также технологического, теоретического, конструктивного и экспериментального обоснования предложенной конструкции пневматического кормораздатчика и внедрении его в учебный процесс и в производство.

Оценка и внедрение результаты диссертации. Основные положения диссертационной работы доложены и одобрены на ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, аспирантов и научных сотрудников Таджикского аграрного университета им. Ширинщох Шотемур, Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими 2012-2025 гг., а также на конференции «Молодежь и современная наука» в 2011 г. в городе Душанбе.

Публикации по теме диссертации. По материалам диссертации опубликованы 29 работ, в том числе 13 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК при президенте Республики Таджикистан, 13 статей в материалах конференций, 3 малые патенты Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав основного текста, выводов, списка литератур и приложений. Общий объем работы изложены в 159 страницах компьютерного набора, иллюстрирована 33 рисунками и 24 таблицами.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ способов кормления овец

Кормление и содержание овец требует наибольших затрат, в частности, уровень и способы кормления, питательность кормов, режим кормления и другие факторы оказывают огромное влияние на продуктивность скота [76,78].

Всесоюзным научно-исследовательским институтом овцеводства и козоводства (ВНИИОК) разработаны нормы кормления овец с учетом направления, продуктивности, живой массы, возраста и физиологического состояния животных [23, 77, 92].

Рациональное кормление овцематок в период подготовки к осеменению обеспечивает их высокую плодовитость, нормальное течение суягности и хорошую молочность после ягнения [23, 77, 92].

Молочная продуктивность овец определяется обеспечением их обменной энергией, углеводами, жиром, минеральными веществами и витаминами.

Условия кормления овец сильно влияют на показатели качества шерсти: крепость, растяжимость, упругость, количественное соотношение волокон типов, длину и др.

Качество шерсти, его рост находится в прямом соотношении с функциями питания всего организма. Качество мяса в значительной степени зависит от интенсивности выращивания и откорма, а также применения различных кормовых продуктов и добавок.

В рационах для овец нормируют содержание кормовых единиц - переваримого протеина, кобальта, марганца, цинка, железа, кальция, фосфора, каротина, жиров, витаминов и поваренной соли [77].

Обычными способами приготовления кормов не представляется возможным составления рационов сбалансированных по многим видам питательных веществ [23, 77,92].

Исследования, проведенные во ВНИИОК по составлению оптимальных рецептов кормов для овец, показали, что гранулированные корма позволяют легко сбалансировать по всем элементам питания [6, 22, 23, 56].

Гранулирование дает возможность вводить в смесь большое количество грубых кормов, утилизировать отходы полеводства, овощеводства, виноградарства, садоводства и хлопководства [6, 16].

При кормлении ярок гранулами настриг шерсти увеличился на 0,16…0,55 кг, среднесуточные привесы увеличились на 8…52%, а кормление молодняка дало дополнительно продукции на 26 сомони, чем кормление натуральными кормами [107].

Эффективность кормления овец гранулированными кормами подтверждены исследованиями СНГ и зарубежных ученых [16, 19, 40, 41, 44, 54, 55, 68, 74, 107. 108].

При гранулировании кормосмесей кроме разрушения химических связей клетчаток, что приводит к образованию низкомолекулярных углеводов, все компоненты хорошо перемешиваются, и достигается однородность корма [7].

Этот способ (приготовление вафель, брикетов и гранул) заготовки кормов имеет по сравнению с заготовкой сена в прессованных стогах следующие преимущества: высокая плотность корма, меньшая потребная площадь хранилищ, отсутствие проволоки или другой вязки, уменьшение потерь питательных веществ, возможность создания системы автоматической транспортировки. Уменьшение размеров сена до вафель, тюбиков и гранул позволяет пересмотреть всю технологию заготовки хранения и раздачи корма в США и Канаде.

Анализ данных ООО им Л. Муродова города Гиссар также показывает следующие преимущества гранулированных кормов:

- питательность свежей измельченной растительной массы при уборке на сено с предварительной её сушкой в прокосах теряется на 60…70%, при досушивании вентилированием на 40 – 50%, при уборке на сенаж на 20 …30%, а при переработке зеленой массы на травяную муку в гранулах эти потери не превышают 5%.

Гранулирование кормосмесей дает следующие преимущества перед другими кормами:

- позволяет полностью механизировать и автоматизировать процесс производства и раздачи кормов;

- снижает себестоимость животноводческой продукции;

- позволяет путем введения соответствующих добавок получать полноценные кормовые рационы для сельскохозяйственных животных разных половых и возрастных групп;

- повышает производительность труда при раздаче в 4…5 раз;

- способствует лучшей усвояемости грубых кормов;

- уменьшает отходы грубых кормов при кормлении.

По этому поводу А.Н. Ульянов и А.Я. Куликова пишут: «Более эффективным приемом подготовки кормов к скармливанию является приготовление полнорационных рассыпных кормосмесей, все компоненты которых измельчаются до определенной величины (20-30 мм). Поедаемость их повышается до 85-90%, а при дополнительном плющении – до 95%. В кормосмесь вносят различные биологически активные добавки. В зависимости от наличия кормов в кормосмесь включают сено – до 15-25%, солому – до 15-20%, силос – до 45-60%, концентрированные корма – до 20- 35% и минеральные добавки – до 1%. С учетом возраста, пола, физиологического состояния животных состав кормосмеси меняется. Приготовление кормосмесей позволяет упростить и механизировать раздачу кормов. Наряду с рассыпными кормосмесями в кормлении овец используются полнорационные гранулированные кормосмеси, в которых размолотые корма превращаются в твердые, определенной плотности и величины гранулы. Гранулируют кормосмеси обычно полностью сбалансированные по питательности с учетом требований различных групп овец. Гранулирование до минимума сокращает потери кормов, обеспечивает полное поедание овцами всех компонентов рациона, точное нормирование его состава, облегчается транспортировка и механизированная раздача в кормушки. В состав гранул можно включать до 80% грубых кормов. В качестве источника протеина и каротина в состав гранул включают травяную или сенную муку бобовых и злаковых трав. При

недостатке кормов богатых протеином в гранулированную кормосмесь добавляют мочевину (5 кг на 1 т кормосмеси). Приготовление кормосмесей, особенно гранулированных сопровождается удорожанием кормов. Однако их использование обеспечивает значительный экономический эффект за счет лучшей поедаемости кормов, повышения продуктивности овец, сокращения затрат труда на обслуживание поголовья» [105, с.15].

Зоотехнической и технико-экономической оценке способов кормления овец посвящены исследования Н.М. Морозова, Ю.А. Мирзоянца, В.Е. Фириченкова и В.П. Карпова из Института механизации животноводства – филиал Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Е.И. Резника – Всероссийского научно- исследовательского института электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ), Т.А. Сенькиной - ФГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», П. Р. Хильберто – Университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, К.К. Карибаева – Узбекский научно-исследовательский институт животноводства (УзНИИЖ), В.Г. Коба, Ю.А. Макшанцева, А.А. Самигулина и др. – Саратовский институт механизации сельского хозяйства им. М. И. Калинина, Н. Шамсиева, С. Тилоева, З.В. Кобули, Назарова С.С.– Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур, Р.Х. Масиева – Трест «Таджиксельмонтаж», А.М. Умирзокова – Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими [39, 46, 47, 59, 60, 62, 63, 64, 73, 74, 75, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 120, 121, 122, 123, 124, 125].

Вместе с тем, Ладан П.Е. и Густун М.И. [57] указывают, что вольное скармливание гранулами высокой питательности приводит к ожирению животных. В связи с этим авторы рекомендуют скармливать гранулы строго по норме и приготавливать их определенной питательности, то есть строго нормированное кормление овец.

Нормированное кормление овец положительно сказывается на прочности шерсти, увеличивает привесы, улучшает качество мяса, обеспечивает их высокую плодовитость.

При различной консистенции корма (сочные корма, сено, солома, силос, сухие концентрированные корма и др.), имеющие различные физико-механические свойства, практически невозможно разработать технологию кормления для всех групп, с высокой степенью механизации и автоматизации. В связи с вышеизложенным, наиболее перспективным кормом при переводе овцеводства на промышленную основу, являются гранулированные корма, обладающие однородными физико-механическими свойствами [4, 6, 16, 34, 36, 56, 72, 101, 102].

Кормление по нормам позволяет планировать производство кормов и животноводческой продукции, способствует сохранению племенных животных в заводской кондиции, оказывает положительное влияние на качество продукции и исключает возможность заболевания животных от лишнего потребления корма: «По данным А.В.Чмыренко (1976), А.Ефремова (1975), Е.Герасимовича и др. (1975), Н.Ф.Буланкиной (1979), Н.И.Кондратьева (1974), Т.И.Сарбасова и К.Джаксымбетова (1974), поедаемость полнорационных гранулированных кормов составляет 91-100%. Потребление воды на I кг сухих веществ съеденного корма увеличивается почти в два раза (л.citric, 1972, И.Г.Титузов, 1975; Д.К.Куимов, 1975), В опытах А.Н.Ульянова и Н.И.Кравченко (1975) при кормлении овец гранулированными кормами увеличилось потребление воды в 1,5 раза. По данным Т.К.Бурдуковской (1975), овцы при поедании гранул пьют воду чаще и в 1,5-2 раза больше, чем при кормлении обычными кормами. В опытах Ю.Н.Курбанова (1972) установлено, что при кормлении овец гранулами потребление воды составляет в среднем 6,5 литра в сутки. Гранулированный корм поедается животными быстрее и в большем количестве (В.Ф.Бракин, И.С.Ковальчук, 1966). Скармливание гранулированных кормов повышает потребление корма в расчете на сухое вещество. Животные, получавшие гранулированные корма, меньше расходовали энергии и времени на прием и пережевывание корма (Е.И.Герасимович, И.К.Слесарев, Г.И.Квет-ковский, 1975). Затраты на переваривание гранулироваиных кормов значительно ниже, чем на усвоение

натуральных кормов (А.Д.Синещеков, 1973). В связи с этим в рубец меньше поступает слюны, обладающей щелочными свойствами, увеличивается кислотность содержимого рубца (Л.Г.Боярский, 1976). Величина РН находится на сравнительно низком уровне (5,5-5,8), тогда как при обычных условиях кормления она бывает в пределах 6,2-6,8 (К.У.Медеубеков, Н.Р.Ракишев, Б.А.Айткожанова, 1975). При скармливании гранулированных кормов происходит снижение количества ЛЖ, уменьшается количество общего, белкового и небелкового азота …» [22, URL:ttps://studexpo.net/1090633/selskoe_hozyaystvo/granulirovannye_korma_kormlenii_ovets (дата обращения 19. 05. 2026)].

Здесь же отмечается что: «Мелкоизмельченные частицы гранулированного корма быстрее продвигаются по желудочно-кишечному тракту, меньше подвергаются воздействию целлюлозолитических микроорганизмов в пред-желудках, что и снижает переваримость клетчатки (И.Г.Титузов, 1973). Об этом же свидетельствуют данные В.И.Агафонова и Л.А.Алиева (1977). В их опытах переваримость клетчатки гранулированных кормов снизилась на 20,36$ по сравнению с переваримостью натуральных кормов. О.Божинова, Т.Желязков (1971, 1972) указывают на снижение содержания клетчатки в корме после грануляции. При скармливаіши овцам гранулированных кормов происходит увеличение сосочков рубца, повышение функциональной активности щитовидной, поджелудочной и бруннеровых желез (В.А.Веденеева, 1977). Одновременно усиливается работа сычуга, повышается выделение сока, увеличивается синтез пепсина и соляной кислоты. Работа ротовой полости и преджелудков разгружается, а тонкого и толстого отделов - загружается. В составе гранулированного корма лучше перевариваются жир и БЭВ» [22, URL:ttps://studexpo.net/1090633/selskoe_hozyaystvo/granulirovannye_korma_kormlenii_ovets (дата обращения 19. 05. 2026)].

Подводя итоги вышеизложенного, можно заключить, что с точки зрения зоотехнии (физических особенностей овец) и технико-экономической

эффективности гранулированные корма имеют преимущества перед другими кормами, а также учитывая переход овцеводства на промышленную основу можно сформулировать требования к кормораздающим устройствам для овец:

- иметь возможность нормированной раздачи гранулированных кормов для овец всех возрастных и половых групп;
- не допускать потери кормов;
- отличаться простотой конструкции и надежностью в работе;
- создавать безопасные условия труда содержания животных;
- иметь возможность включаться в автоматизированную систему управления производством.

1.2 Анализ средств механизации раздачи гранулированных кормов на овцеводческих фермах и комплексах

На животноводческих фермах для раздачи гранулированных кормов применяют различные механизмы, которые различаются по конструкции, по типу кормонесущего органа, по роду привода, технико-экономическим показателям и т.д.

С целью выявления оптимального вида кормораздающего устройства, отвечающего зоотехническим и экономическим требованиям с учетом перевода на промышленную основу, выполнен анализ существующих кормораздатчиков, которые применяются или успешно могут быть применены для раздачи гранулированных кормов.

А.П. Конаков, Ю.Н. Юдаев и Р.Б. Козин, анализируя машины для кормления овец, отмечают, что: «…наиболее эффективна раздача измельченных кормов, рассыпных кормосмесей и гранул при помощи стационарных и мобильных кормораздатчиков. Стационарные раздатчики над кормушкой позволяют эффективнее использовать производственную площадь помещения. Сочетание мобильных и стационарных раздатчиков с применением комбинированных кормушек обеспечивает полную механизацию процесса

раздачи. Правильная расстановка дополнительного оборудования в период окота способствует повышению культуры обслуживания, облегчает труд чабанов.

Хорошо зарекомендовал себя процесс раздачи рассыпных кормов с помощью набора серийного оборудования. С наружной торцевой стороны овчарни устанавливают два бункера Б-6 или БСК-10 с нориями НЦГ-10. В эти бункера мобильными раздатчиками периодически загружают корма. Из бункеров шнековым транспортером корм подается в желоб над оцарками и цепным транспортером перемещается в самокормушки.

Зоотехнические требования к машинам и оборудованию в основном аналогичны указанным в разделе «Кормление крупного рогатого скота». Существенным отличием являются передвижные ограждения, которые служат для образования в овчарне тепляка с родильным отделением, секций, групповых и индивидуальных клеток» [49, с.62].

Стационарные средства для раздачи гранулированных кормов по роду использования имеют ряд преимуществ перед мобильными: более компактны и занимают меньше полезной площади в помещениях, более точны дозирующие устройства, имеют возможность быть включенными в систему автоматического управления, не требует дополнительных тяговых средств, отсутствуют вредные и токсические гази для животных.

Преимуществом мобильных кормораздатчиков – прицепных, агрегатируемых тракторами, и самоходных, с приводом от двигателя внутреннего сгорания или от электродвигателя – является их хорошие транспортные свойства.

Капитальные затраты, затраты на эксплуатацию, качество раздачи, вид раздаваемого корма, размеры фермы или комплекса предопределяют выбор того или иного вида кормораздающего устройства.

В связи с переходом овцеводства на промышленную основу одним из важных условий является возможность включения кормораздатчика в систему

автоматического управления. Этому требованию отвечают стационарные кормораздатчики.

Произведенный анализ существующих кормораздающих устройств дает предпосылки, что стационарные кормораздатчики наиболее полно отвечают требованиям раздачи гранулированных кормов на овцеводческих фермах и комплексах.

Анализируя современное состояние вопроса раздачи кормов овцам Ю.А. Мирзоянц и В.Е. Фириченков пишут: «Раздача кормов (погрузка, транспортирование и раздача корма являются наиболее трудоемкими производственными процессами, на выполнение которых затрачивается 20-30% рабочего времени по обслуживанию животных, и для измельчения и раздачи грубых и сочных кормов следует применять преимущественно мобильные технические средства): – в овчарне при наличии кормовых столов использовать малогабаритный РКМ-54, малогабаритный РММ-6, миксер-кормораздатчик САМ-5, раздатчик-измельчитель-смеситель РИСП-10 с функциями самозагрузки, приготовления кормовой смеси с последующей выдачей кормов в помещениях и выгульно-кормовых дворах. Перспективным направлением является использование комплектов специальных изгородей с переставляемыми по высоте поилками и кормушками с заполнением последних модернизированным мобильным кормораздатчиком КУТ-3А и электрифицированными кормораздатчиками РСА-5А и КСП-0,8 (модернизируются выгрузные устройства, что позволяет загружать корм независимо от высоты размещения кормушек); – в секциях с овцами размещать ротационную самокормушку КРР-0,5, кормушку навесную перемещаемую для овец КНО-7 конструкции СНИИЖК; – на выгульно-кормовых площадках использовать мобильные кормораздатчики малогабаритные РКМ-5 и РММ-6, миксер-кормораздатчик САМ-5, раздатчик-измельчи тель-смеситель РИСП-10 с функциями самозагрузки и приготовления кормовой смеси, размотчик рулонов, измельчитель-раздатчик РИФ-500, ротационную самокормушку КРР0,5, кормушку навесную для овец КНО-7. Передвижные ротационные

самокормушки загружаются путем накатывания в них рулонов по пандусу трактором МТЗ-80 с грейферным погрузчиком» [73, с. 48-49].

На животноводческих и птицеводческих фермах нашей республики и за рубежом распространение получили тросово– цепочно– штангово–шайбовые кормораздатчики, разработанные ВИЭСХ (типа РКА и др.) и фирмами «Гиза» и «Аза» (Италия), «Шаллер» и «Хельц» (ФРГ). Основными органам тросово-шайбовых транспортеров (рис. 1.1.) являются: кормопроводы, замкнутый транспортирующий орган, привод, угловые повороты и дозаторы.

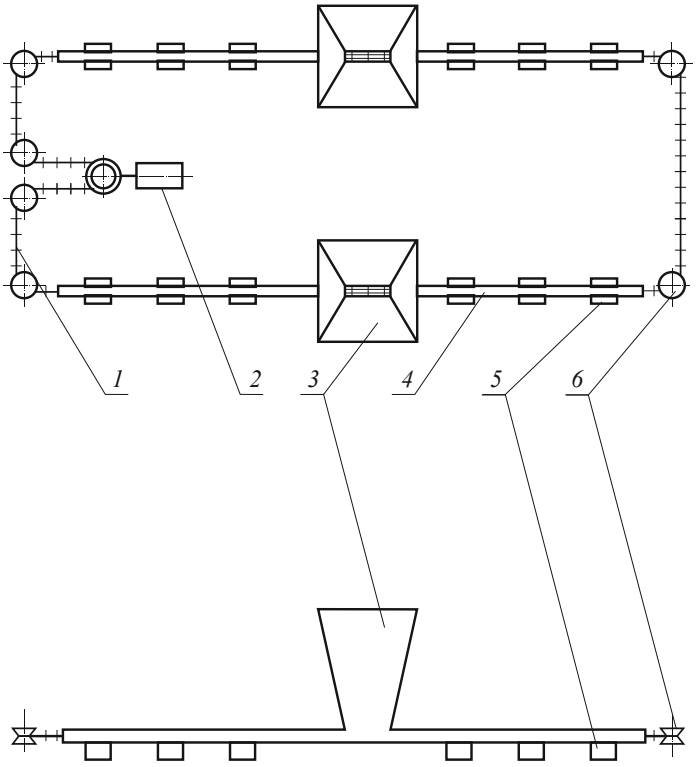


Рисунок 1.1– Тросово-шайбовый кормораздатчик: 1 – тросово-шайбовый транспортер; 2 – электродвигатель; 3 – бункер – накопитель; 4 – кормопровод; 5 – дозаторы; 6 – поворотные устройства

Рабочий орган транспортирует корм из бункера-питателя по кормопроводу, заполняет последовательно или одновременно дозаторы, расположенные по фронту кормления. Движение рабочего органа – троса с закрепленными на ней шайбами – может быть непрерывным (по замкнутому кольцу) («Шаллер», «Гиза») или возвратно поступательным (типа РКА). Из дозаторов корм высыпается в кормушки специальным устройством.

Шайбовые транспортеры предназначены для раздачи концентрированных сыпучих и гранулированных кормов. Достоинствами данных транспортеров являются: возможность раздачи кормов по сложной пространственной трассе на значительные расстояния, малые габаритные размеры. Широкое распространение данного типа кормораздающих устройств сдерживается из–за наличия недостатков: несовершенство дозирующего аппарата, сложности эксплуатации (текущий ремонт по восстановлению шайб и их крепления на тросе), износ труб через 2 года, потери корма, высокие энергозатраты и т.д.

Стационарные шнековые (винтовые) транспортеры в нашей стране нашли незначительное применение. Они просты по устройству - винт и кормопровод компактны, не требуют ухода, выполняют также роль смесителя. Шнековые транспортеры могут раздавать жидкие, полужидкие и сухие концентрированные корма. Они более широкое распространение нашли за рубежом в виде различных конструкций: шнек в трубе, шнек в поворотном кожухе, шнек между вертикально расположенными направляющими стенками и др. (рис.1.2.).

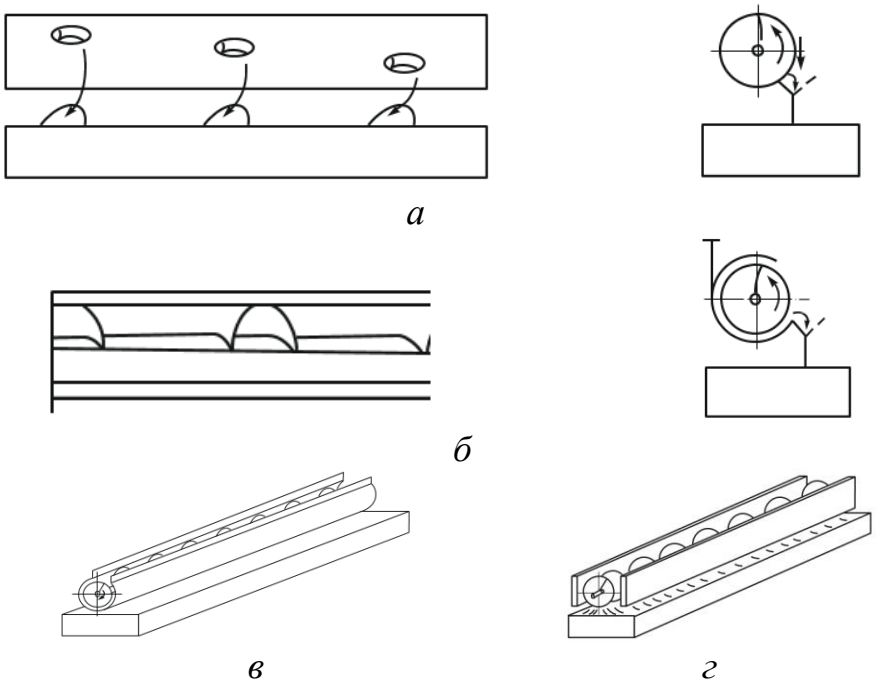


Рисунок 1.2 – Стационарные шнековые кормораздатчики: *а* - шнек в трубе; *б* - шнек в поворотном кожухе; *в* - открытие шнековые кормораздатчики; *г* - шнек в кожухе со скошенной гранью

Шнековые раздатчики конструкции – шнек в трубе, имеют сбоку по всей длине трубы с отверстиями для выхода корма (рис.1.2, *а*). В целях равномерной раздачи кормов животным, каждое последующие отверстие расположено ниже предыдущего. Для направления отгружаемого из отверстий корма, предусмотрена доска, расположенная в нижней части, по всей длине трубы. Количество выдаваемого корма регулируется изменением высоты отверстий.

Выгрузка корма в кормушку из шнекового раздатчика (рис.1.2, *б*) производится поворотом кожуха относительно горизонтальной оси после его заполнения по всей длине шнека.

Особенностью открытых шнековых кормораздатчиков является то, что при подаче шнеком корма, в начале, заполняют переднюю часть кормушки до уровня шнека, а затем по мере поступления последующих порций кормовой массы происходит протаскивание корма по всей длине шнека (рис.1.2, *в*). Изменением положения досок над кормушкой регулируется количество раздаваемого корма. Кормораздаточный шнек в кожухе со скошенной разгрузочной гранью выгружает массу в кормушку через открытую часть кожуха (рис.1.2, *г*). Скос кромки кожуха обеспечивает равномерное распределение корма по всему фронту кормления.

Анализ работы шнековых кормораздатчиков показывает, что они металлоемки, имеют несовершенные дозирующие органы, измельчают гранулированные корма (более 5%), что недопустимо зоотехническими требованиями.

Кормораздатчики со штангово-скребковым несущим органом отличаются простотой и надежностью в работе.

Основными рабочими органами штанговых транспортеров являются: штанга с раскрывающимся горизонтальными скребками при движении в одну сторону и складывающимся при движении в другую сторону, дозирующий орган, привод, загрузочный транспортер и механизм закрывания и открывания днищ (рис.1.3).

Подающим транспортером-питателем кормовая масса перемещается по длине дозирующего органа возвратно-поступательным движением штанги. После заполнения дозирующей емкости отрывается днище, и корм поступает в кормушки. Изменение объема дозирующего органа производится путем подъема или опускания днища.

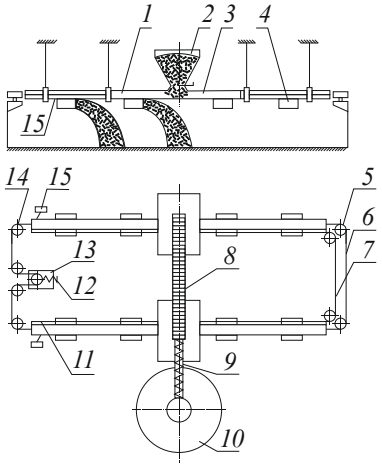


Рисунок 1.3 – Штангово- скребковый кормораздатчик: 1 - штангово-шайбовый транспортер; 2 - приемный бункер; 3 - кормопровод; 4 - дозирующая емкость; 5 - блок; 6 - тяговая цепь; 7 - соединительная цепь; 8- горизонтальный скребковый транспортер; 9 - наклонный шнековый транспортер; 10 - наружный бункер; 11 - ползунковое устройство; 12 - натяжное устройство; 13 – приводная станция; 14 - звездочка; 15 - концевой выключатель; 16 - регулирующая заслонка

Недостатками кормораздатчиков со штангово-скребковым несущим рабочим органом являются металлоемкость, сложность механизма изменения нормы выдачи кормовой массы, измельчение и истирание корма, быстрый износ корможелоба и скребков в связи с волочением корма, уплотнение доз корма в процессе их формирования.

Недостатки цепочно-скребковых кормораздатчиков аналогичны недостаткам штангово-скребковых. Кормонесущим органом этих кормораздатчиков является цепь, с закрепленными на ней с определенным

шагом, скребками. Преимущество таких кормораздатчиков в возможности перемещения корма в любом направлении.

В животноводстве большое распространение получили платформенные кормораздатчики. Они предназначены для раздачи грубых, сухих концентрированных (рассыпных гранулированных), сочных, влажных и полужидких кормов.

В зависимости от вида раздаваемого корма платформенные кормораздатчики имеют различные конструкции кормонесущей платформы: плоская открытая, желеобразная, желоб с резервным дном, желоб с шарнирным дном, бесконечная гладкая лента, пластинчатая, плоская с окнами, плоская (закрытая в кормопроводе) [60].

В совершенствовании конструкций платформенных кормораздатчиков определенный вклад внесли исследователи Коба В.Г., Макшанцев Ю.А., Тарасов Л.И. и др. [47, 48, 60].

Широкое распространение в нашей стране получили стационарные кормораздатчики ТВК-80Б (рис. 1.4), которые являются модификацией цепочно-планчатого транспортера ТВК-80А. Сборные железобетонные кормушки его более долговечны по сравнению с деревянными (ТВК-80А).

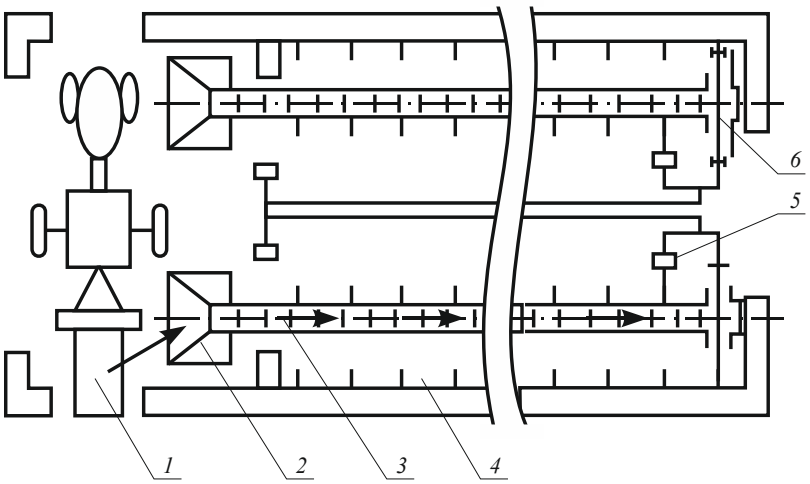


Рисунок 1.4 – Схема размещения кормораздатчика ТВК-80Б в овчарне: I — мобильный раздатчик для загрузки; 2 — бункер с натяжным устройством; 3 — скребковый транспортер кормораздатчика; 4 — клетки с животными; 5 — приводная станция; 6 — ведущий вал.

Описывая конструкцию кормораздатчика ТВК-80Б, А.П. Конаков, Ю.Н. Юдаев и Р.Б. Козин пишут, что: «Рабочий орган раздатчика ТВК-80Б — прорезиненная лента шириной 500 мм, тяговое усилие на ленту от приводной станции передает холостая ветвь — цепь. Длина обеих ветвей транспортера одинаковая. В соединении цепи с лентой имеется предохранительное устройство, разъединяющее цепь со звездочкой при неисправности концевого выключателя. Кормовой желоб раздатчика выполнен из отдельных железобетонных элементов.

Рабочий процесс осуществляется так. Для загрузки транспортера-раздатчика кормами мобильный кормораздатчик устанавливают так, чтобы выгрузной транспортер был напротив загрузочного бункера. Включают машины одновременно. Корм в загрузочном бункере попадает на ленту и, перемещаясь вдоль кормового желоба, заполняет его по всей длине транспортера-раздатчика. При заполнении последней кормушки транспортер-раздатчик отключается автоматически.

Для повторного процесса раздачи кормов нажимают кнопку “Назад”, и лента транспортера движется в об ратном направлении. При этом лента находится в исходном положении для последующей загрузки.

При эксплуатации раздатчика регулируют натяжение его рабочего органа натяжными винтами и удалением парного числа звеньев цепи. В последнем случае сверлят в дне кормового желоба два отверстия и прикрепляют цепь ко дну. Затем, вращая вручную муфту редуктора, натягивают нижнюю цепь до тех пор, пока участок цепи между закрепленной частью и звездочкой не ослабнет настолько, что можно будет разъединить цепь и удалить парное количество звеньев. После этого соединяют цепь и снова натягивают натяжными винтами. Нижняя ведомая ветвь должна касаться настила через 4.. .5 м от оси натяжного барабана.

Зазор между нижней кромкой ролика выключателя и плоскостью упора регулируют перестановкой выключателя, при этом кромка ролика должна быть ниже плоскости упора на 5 мм. В процессе работы транспортера-раздатчика не

допускают попадания корма под кормовой стол (на ведомую ветвь). Для этого своевременно очищают тяговые цепи от остатков корма и устраняют выявленные неисправности» [49, с.11-12].

Разработанная институтом ЦНИИПТИМЭЖ Южной зоны СНГ односпиральный транспортер (рис. 1.5) прост по устройству и принципу действия. Спираль, из стальной проволоки, вращаясь в горизонтальной стальной трубе диаметром 1 – 2,5 дюйма перемещает корм из бункера и производит раздачу через отверстия в трубе.

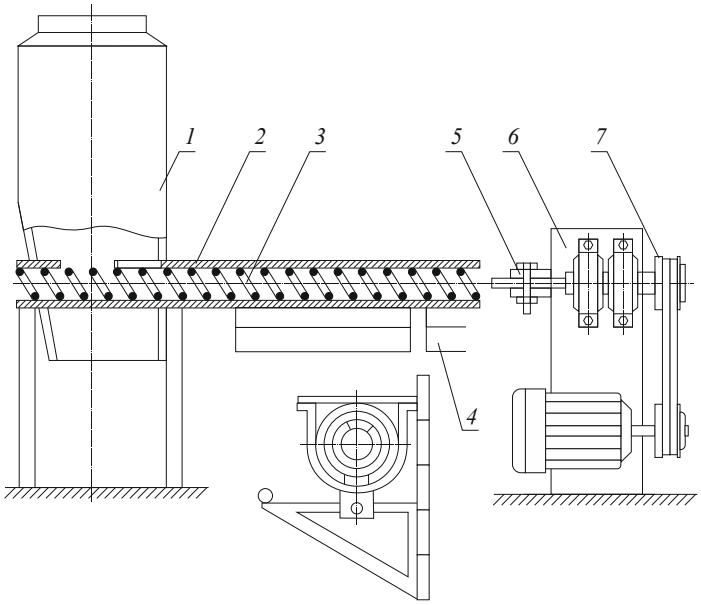


Рисунок 1.5 – Односпиральный пружинный кормораздатчик:
1 - питающий бункер; 2 - кожух транспортера; 3 - спираль; 4 - дозатор объемный порционный; 5 - муфта соединительная; 6 - вал привода; 7 -передача клиноременная; 8 - электродвигатель

Спирально-пружинные транспортеры-раздатчики просты по устройству и конструкции, менее энергоемки, но из-за низкой эксплуатационной надежности, шума и сложности технологии изготовления, не нашли широкого применения.

В последнее время в нашей стране все шире применяются цепные транспортеры для раздачи сухих кормов (рис. 1.6). Они широкое применение нашли также в США и ФРГ. Корма в транспортёрах перемещаются цепью и

движутся по дну желоба. Элементы цепи могут быть различных форм. За рубежом нашли применение раздатчики цепного типа, выпускаемые фирмами «БИГ ДАЧМЕН» и «ЕЛТЕКС».

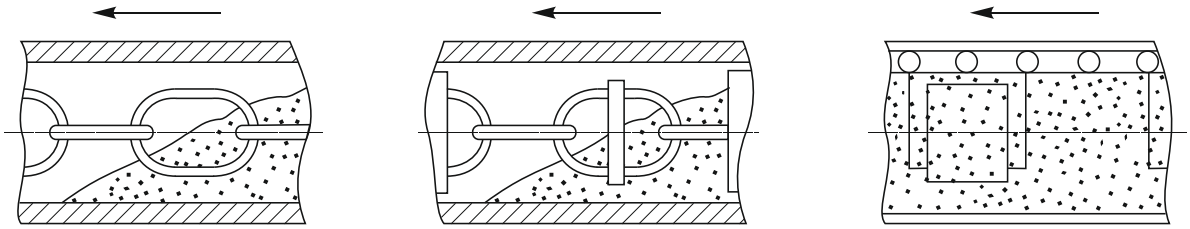


Рисунок 1.6 – Цепные кормораздатчики: 1-цепной; 2-цепочно-шайбовый; 3-цепочно-скребковый

Достоинствами цепных кормораздатчиков являются простота их конструкции, малая энергоемкость, возможность автоматизации процесса. Цепные кормораздатчики в животноводстве получили небольшое распространение из-за малой производительности и малого предела регулирования нормы выдачи корма.

Простота устройства, удобства в обслуживании, высокий коэффициент эксплуатационной надежности, универсальность при раздаче различных по виду и консистенции кормов дали возможность широкому распространению в нашей стране ленточных кормораздатчиков, кормонесущим органом которых является лента.

Ленточные кормораздатчики по типу дозирующих устройств бывают со сбрасывающим скребком, со сбрасывающей щеткой, со сбрасывающей тележкой, со скошенным дном и другие.

Основными недостатками ленточных транспортеров являются неравномерность раздачи сухих концентрированных (рассыпных и гранулированных) кормов, несовершенство дозирующих устройств, невозможность включения в автоматизированную систему управления.

Кроме вышеуказанных, на фермах используются также кормораздающие устройства, рабочие органы которых выполнены в виде желобов кормушек и ковшей.

Желоба кормушки, принцип действия которых бывают колебательной, вибрационной и передвижной, предназначены для раздачи сухих концентрированных (рассыпных и гранулированных), влажных мещанок и реже – грубых и сочных кормов.

В колебательных желобах кормушек корм перемещается вследствие их возвратно-поступательного принципа действия. Корм перемещается при сообщении на кормушки вибрации определенной частоты, при этом происходит направленное подбрасывание и полет частиц корма по инерции.

Недостатками желобов кормушек различного принципа действия, являются сложность монтажа (требуют точность), образование заторов при попадании посторонних предметов (пух, перо, комки корма и т.д.), вследствие чего корм ссыпается на пол.

Кормонесущим органом ковшовых кормораздатчиков является ковш, закрепленный на ленте или цепи. Ковшовые кормораздатчики могут раздавать различные по виду и консистенции корма, но в связи с громоздкостью конструкции, металлоемкости и применением ручного труда при дозировке корма не нашли широкого применения.

Т.Н. Кузьмина и В.Н. Кузьмин пишут, что: «Механизация основных технологических процессов в овцеводстве допускает использование технических средств из других отраслей животноводства. Так, в овцеводстве находили применение кормоцеха типа КОРК, мобильные кормораздатчики типа КТ-Ф и КТУ, линейные и бункерные кормушки, комбинированные для кормления овец в клетках-кучках, передвижные (типа ВУО) и стационарные (типа ГАО, АПО) поилки. Несмотря на наличие оборудования, уровень комплексной механизации технологических процессов в овцеводстве был самым низким из всех подотраслей животноводства и составлял 12%» [53, с.55].

Пневматические транспортеры и кормораздатчики, кормонесущими органами которых является воздушный поток, с каждым годом всё шире используются в животноводстве нашей страны и за рубежом.

Пневматические кормораздатчики могут раздавать различные корма: жидкие кормосмеси, гранулированные, сухие и сочные стебельчатые корма [1, 2, 25, 30, 31, 33, 34, 37, 58, 105, 115].

Системы пневматического транспортирования и раздачи кормов отличаются: простотой конструкции – основным рабочим телом является воздушный поток, а основными рабочими органами – кормопровод и механизм разгрузки кормов; надежностью в работе – не имеют вращающихся и трущихся частей; возможностью перемещать корм на значительные расстояния, исчисляемые километрами; транспортировать и раздавать по любой трассе – прямой, на разной высоте, различной кривизны; возможностью механизации всего процесса – транспортировки корма из кормоцеха в животноводческие помещения, нормировании и его раздачи; низкой металлоемкостью – кормопровод, аэрожёлоб и корможелоб можно изготовить из пластмассы, дерева и других материалов; возможностью создавать гигиенические условия для обслуживающего персонала и животных; возможностью использования системы кормораздачи для создания микроклимата в помещениях; долговечностью.

Повышенная энергоемкость процесса пневмотранспортирования и раздачи кормов, которая является основным их недостатком, может быть снижена при правильном выборе основных параметров рабочих органов.

Пневматический транспорт и кормораздача, кроме экономических и эстетических преимуществ перед другими кормораздатчиками, позволяют положительно влиять на окружающую среду, более оптимально использовать производственные помещения животноводческих ферм, уменьшать численность обслуживающего персонала, начинать и заканчивать технологические процессы в строго определенное время и создавать безопасные условия для содержания животных и для работы обслуживающего персонала.

Анализ применяемых средств для доставки и раздачи гранулированных кормов как в СНГ, так и за рубежом показывает, что наиболее перспективными являются пневматические кормораздатчики.

1.3 Конструктивно – технологические схемы существующих кормораздатчиков для овец

Технология выращивания овец отличается от технологии содержания других животных тем, что весь процесс от ягнения до забоя или воспроизводства делится на отдельные периоды: ягнение, выращивание ягнят, интенсивный откорм, осеменение, суягность и другие. В эти периоды животные неоднократно группируются. При каждом группировании, в отдельные периоды, необходимо изменять норму кормления, уделять особое внимание увязке машин между собой и организации бесперебойной доставки и раздачи кормов [24, 25, 29, 77].

О технологических схемах кормления овец авторы У.Х. Арипов, В.М. Виноградова, П.А. Воробьев и др. пишут, что: «Для овец готовят в основном рассыпные и гранулированные кормосмеси в прифермских и хозяйственных кормоцехах. Цехи для приготовления рассыпных кормосмесей должны иметь 3 - 4 технологические линии.

На первой технологической линии механизированы выемка сена и соломы из хранилищ с предварительным их измельчением и погрузкой в транспортные средства, подвозка к кормоцеху и выгрузка для окончательного измельчения и после окончательного измельчения – дозированная подача на смешивание.

На второй технологической линии механизированы выемка силоса или сенажа из хранилищ а, их погрузка в транспортные средства, подвозка к кормоцеху и дозированная подача на смешивание.

На третьей технологической линии приготавливают концентраты, которые дозированно подают на смешивание. В некоторых случаях в кормоцех

доставляются готовые концентраты и технологической линии для их приготовления тогда не делают.

На четвертой технологической линии происходят смешивание всех компонентов и выгрузка готовой смеси на раздачу.

Для приготовления рассыпных кормосмесей промышленностью выпускается комплект оборудования кормоцеха КОРК-15-2 производительностью 15 т/ч. Мощность электродвигателей 134 кВт, обслуживаемое поголовье 3–9 тыс. овец.

Выемка силоса и сенаж а, их погрузка в транспортные средства производятся погрузчиком ПСК-5, забор сена и соломы из скирд, их предварительное измельчение и погрузка в транспортные средства –фуражиром Ф Н -1,2 или Ф Н-1,4.

Если в хозяйстве имеются оборудованные измельчителями комбайны, то солому из-под них целесообразно скирдовать непосредственно у цехов. Эту солому из скирд грузят в транспортные средства погрузчиком-экскаватором ПЭ-0,8. Этим ж е погрузчиком можно выгружать из траншей силос и сенаж.

Сухие сено и солома быстро поглощают влагу из воздуха. Поэтому в климатических зонах с повышенной влажностью их необходимо перерабатывать не позже чем через 30 – 40 мин после выемки из хранилищ а, а в цехах с линией обработки грубых кормов-устраивать навесы для суточного запаса корма.

Цехи для приготовления гранулированных кормосмесей обычно включаю т пять основных технологических линий: измельчения сена и соломы; приготовления концентрированных кормов; приготовления травяной муки; смешивания всех компонентов с внесением при этом макро- и микродобавок; гранулирования кормосмеси.

Линии измельчения сена и соломы, приготовления концентрированных кормов и смешивания в цехах приготовления гранулированных кормосмесей идентичны линиям цехов приготовления рассыпных кормосмесей. Отличие состоит в том, что на смешивание не подают силос или сенаж» [77, с. 200].

Оценка типовых проектов овцеводческих ферм показывает, что в овчарнях для раздачи корма применяют бункерные кормораздатчики типа ТВК-80, на выгульных дворах или базах применяют мобильные кормораздатчики типа КР-Ф-10, КТУ-10А, КРБ-4,7. Доставка корма из кормоцеха до овчарен осуществляется также мобильными кормораздатчиками.

При такой технологии раздачи гранулированных кормов не обеспечиваются зоотехнические требования по нормированному кормлению овец различных половозрастных групп, требуются благоустроенные полотна дорог и транспортные средства для доставки кормов.

При обосновании технологической схемы кормления овец важным фактором является выбор средств механизации для раздачи кормов. По этому поводу авторы У.Х. Арипов, В.М. Виноградова, П.А. Воробьев и др. пишут, что: «Выбор средств механизации для раздачи кормов определяется величиной фермы, принятыми способами содержания животных и технологией приготовления кормов.

Для раздачи силоса, предварительно измельченных сена и соломы, а также рассыпных и гранулированных кормосмесей в овцеводстве используют стационарные и мобильные кормораздатчики. Мобильные кормораздатчики, агрегатируемые с трактором, наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к средствам механизации овцеводческих ферм. Стационарные кормораздатчики по сравнению с мобильными позволяют более эффективно использовать площадь овчарни за счет ее сокращения под кормовые проезды и автоматизировать процесс. Широкого применения в овцеводстве стационарные системы не получили, так как они зависят от бесперебойного снабжения фермы электроэнергией и устанавливаются только в овчарнях, где работают всего 90–60 ч в году. При этом для раздачи кормов в базу не исключается применение мобильных раздатчиков.

Измельченные грубые корма, силос и рассыпные кормосмеси в овчарнях и базах используют и раздают прицепными тракторными мобильными кормораздатчиками КТУ-10 и РММ-5; на фермах – прицепным тракторным

раздатчиком-загрузчиком РЗГ-В-5. Он позволяет раздавать гранулы в кормушки ясельного типа или загружать ими бункерные кормушки высотой до 1,2 м. Д ля раздачи гранулированных кормосмесей можно использовать также КУТ-3,0А, КУТ-3,0БМ и ЗСК-10. Однако при этом следует учитывать, что они дробят до 20 % гранул, что недопустимо, особенно при ненормированном скармливании гранулированных кормосмесей из бункерных кормушек» [77, с.201-202].

Технологическая схема в виде кормоцех – пневмотранспорт – кормораздатчик (рис. 1.7), применяемая в настоящее время в отдельных животноводческих фермах, хотя и исключает потребность дополнительных трудовых затрат на доставку кормов и благоустроенных автодорог, в то же время не обеспечивает нормированного кормления овец гранулированными кормами, а также не имеет возможности использования энергии оотработанного воздуха пневмотранспорта [66].

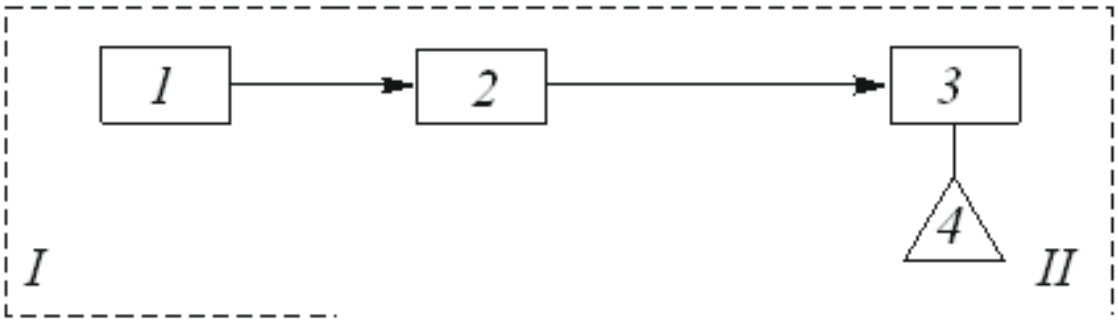


Рисунок 1.7 – Технологическая схема кормоцех – пневмотранспорт – кормораздатчики: 1 – кормоцех; 2 – пневмотранспорт; 3 – распределитель; 4 – бункер – приемник; 5 – кормораздатчики; 6 – отделение и выброс отработанного воздуха

Применение стационарных пневматических кормораздающих устройств дает возможность применения схемы: кормоцех – пневмотранспорт – распределитель – стационарный пневматический кормораздатчик – воздуховод – кормоцех (рис. 1.8).

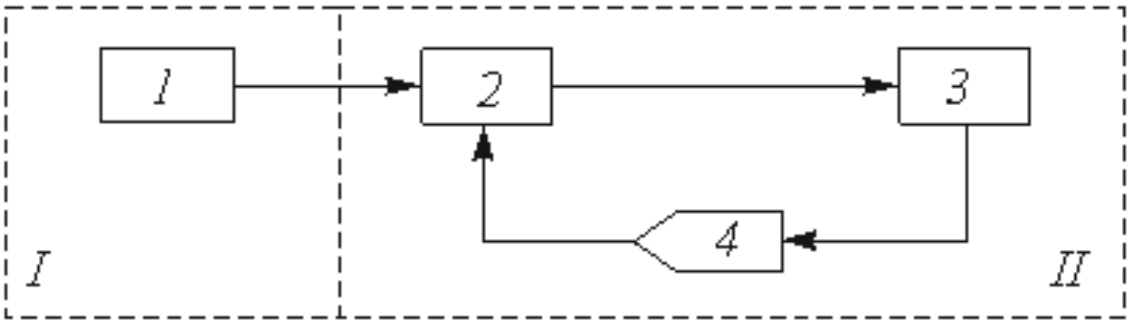


Рисунок 1.8 – Технологическая схема кормоцех – пневмотранспорт – пневмокорморазда тчик – кормоцех:1 – кормоцех; 2 – пневмотранспорт; 3 – распределитель; 4 – пневмокорморазда тчики; 5 – воздуховод для возврата отработанного воздуха и мелких частиц

При этом гранулированные корма из кормоцеха пневмотранспортером доставляются в овчарню или на базу. Используя энергию воздушного потока, пневматическая установка, по заранее установленной норме для данной половозрастной группы овец, раздает корм.

Отработанный воздух с мельчайшими частицами корма, которые прошли через фильтрующий элемент пневматического корморазда тчика, возвращаются в кормоцех, где они осаждаются в циклоне для дальнейшего их использования при гранулировании, а воздушный поток используется вторично в замкнутой системе.

В конструкции корморазда тчика важным условием является герметичность в местах соединения, а также конструкция должна обеспечить герметичность в закрытом положении днища [25].

В целях упрощения конструкций дозирующего устройства и механизма и закрывания днища, а также на основании авторского свидетельства сечение корморазда тчика выполнено прямоугольным [2, 25, 34].

Проведенные исследования показали, что при горизонтальном пневматическом транспортировании кормов в кормопроводах с большей площадью основания, энергия транспортирующего воздуха, используется

лучше. На этом основании ширина корможелоба выполнена больше его высоты.

Данная технологическая схема исключает все недостатки существующих схем и кроме этого, имеет следующие преимущества:

- исключает потерю кормов при раздаче;

- имеет возможность возврата мельчайших частиц;

- исключает непроизводительные потери энергии воздушного потока, т.е. энергия воздушного потока используется для транспортировки, раздачи, отвода частиц, а также повторно для следующего цикла;

- возможно использование воздуховода и пневмоустановки для создания микроклимата непосредственно в области дыхательных органов животных;

- дает возможность автоматизации процессов приготовления, транспортировки и раздачи кормов в комплексах.

1.4 Цель и задачи исследования

Исследования ученых в нашей республике, республиках СНГ и за рубежом, и практика промышленного овцеводства доказали эффективность нормированного кормления овец всех половозрастных групп.

Анализ средств механизации раздачи гранулированных кормов показал, что наиболее перспективными являются стационарные пневматические кормораздатчики, которые недостаточно изучены и исследованы.

Вопросы пневматического транспортирования, применения загрузочных устройств и воздуходувных машин для пневмотранспорта изучены в достаточном объеме и разработаны теоретические основы для инженерного расчета процесса пневмотранспорта и выбора технологического оборудования [2. 3, 31, 32, 33, 34, 104].

Физические процессы, происходящие при перемещении частиц корма воздушным потоком, в кормораздатчике прямоугольного сечения, разделенного на две разные части (аэро – и корможелоб) фильтрующим элементом изучены

не в достаточной мере и требуют всестороннего исследования и теоретического обоснования.

Цель исследования. Повышение эффективности процесса раздачи гранулированных кормов овцам путем совершенствования рабочего процесса и обоснования параметров пневматического кормораздатчика.

Задачи исследования. Для реализации указанной цели предусматривается решение следующих задач:

– обосновать конструктивно-технологические параметры пневматического раздатчика гранулированных кормов овцам;

– разработка математических моделей процессов пневматической раздачи гранулированных кормов овцам;

– оптимизации рабочих режимов работы пневматического раздатчика гранулированных кормов;

– оценка энергетической эффективности процесса пневматической раздачи гранулированных кормов с учетом конструктивных особенностей и условий эксплуатации кормораздатчиков;

– оценка показателей технико-экономической эффективности пневматического кормораздатчика.

Выводы по главе 1

1. На основе анализа состояния вопроса сформулированы цель и задачи исследования.

2. На основе зоотехнического и технико-экономического анализа способов кормления овец установлено преимущества гранулированных кормов перед другими кормами.

3. С учетом перехода овцеводства на промышленную основу сформулированы основные требования к кормораздающим устройствам для овец, применительно к условиям Республики Таджикистан.

4. Дано обоснование конструктивно – технологических схем кормораздатчика для овец.

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАЗДАЧИ КОРМОВ

2.1 Потери напора на пневматическом кормораздатчике

Транспортирующая способность пневматической системы приёма, транспортировки и раздачи кормов определяется напорной характеристикой отдельных участков.

Учитывая конструктивные особенности пневматического кормораздатчика, разделим его на три участка: разгонный участок, рабочий участок и участок отсоса отработанного воздуха (рис. 2.1).

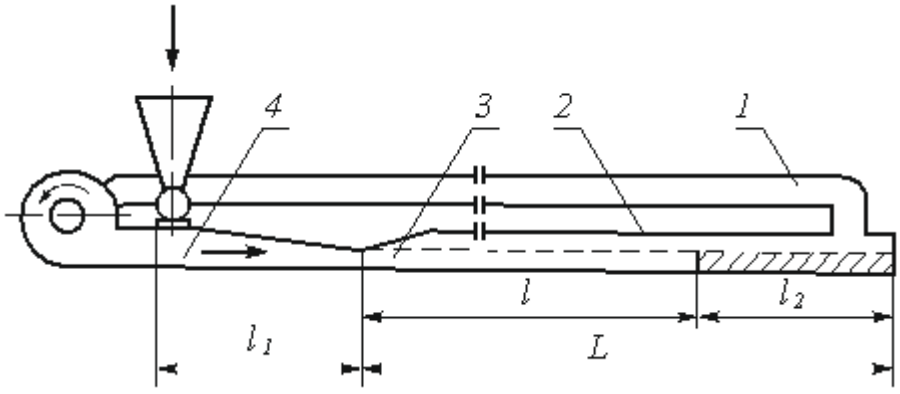


Рисунок 2.1 – Пневматический раздатчик кормов: 1 - участок отсоса отработанного воздуха; 2 - аэрожелоб; 3 - корможелоб; 4 - разгонный участок

Разгонный участок состоит из приёмного узла и воздуховода, где транспортируемому материалу сообщается определенная скорость движения.

Определим потери напора на различных участках пневматической системы кормораздатчика. Следует отметить, что по мере заполнения кормового желоба гранулами, гидравлическое сопротивление воздуховода, а следовательно, и его напорная характеристика будет меняться.

Рассмотрим установившейся режим пневматического транспортирования на момент начало загрузки кормового желоба гранулами, когда воздуховод по всей длине заполнен движущимся смеси гранул и воздуха.

В этом случае суммарная величина потерь напора в воздуховоде будет

$$H_{\Sigma} = H_1 + H_2 + H_3\ , \tag{2.1}$$

где H_1 - потери напора на разгонном участке; H_2 - потери напора в кормораздатчике; H_3 - потери напора на участке отсоса воздуха [34, 35] .

Разгонный участок пневматического транспортирования твердых частиц ранее исследовался многими авторами, и результаты опубликованы в литературных источниках [3, 34].

Потери напора на разгонном участке с прямоугольной формой воздуховода, определяется из выражения [35]

$$H_1 = H^{/}(1 + K_1\mu_1) = \lambda_1 \frac{\ell_1}{Д^{/}_{экв}} \cdot \frac{\rho\vartheta_1^2}{2}(1 + K_1\mu_1), \tag{2.2}$$

где $H^{/}$ - потери напора при перемещении чистого воздуха; λ_1 - коэффициент сопротивления воздуховода при перемещении чистого воздуха; ϑ_1- средняя скорость воздуха в воздуховоде разгонного участка; ℓ_1 - длина разгонного участка; $Д^{/}_{экв}$- эквивалентный диаметр воздуховода; ρ - плотность воздуха; μ_1- коэффициент расходной весовой концентрации смеси воздуха и гранул, равный отношению величины расхода материала и воздуха в единицу времени; K_1 - опытный коэффициент, равный $tg\alpha_1$.

$$K = \frac{H_1 - H^{/}}{\mu_1 \cdot H^{/}}\ . \tag{2.3}$$

Эквивалентный диаметр воздуховода определяется из выражения:

$$Д^{/}_{экв} = 2\sqrt{\frac{b_1 h_1}{\pi}}\ , \tag{2.4}$$

где $b_1,\ h_1$- размеры сечения воздуховода прямоугольной формы.

Для коэффициента расходной весовой концентрации справедливо выражение:

$$\mu = \frac{Q_{шд}}{Q_p}\ , \tag{2.5}$$

где $Q_{шд}$ - производительность шлюзового дозатора; $Q_р$- расход воздуха через разгонный участок.

В зависимости от изменения скорости вращения ротора и объёмов между лопастями шлюзового дозатора изменяется также количество подаваемого корма в воздуховод.

Определим производительность шлюзового дозатора, схема которого показана (рис. 2.2).

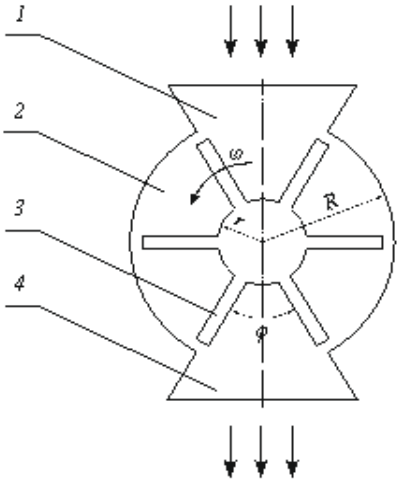


Рисунок 2.2 – Шлюзовой дозатор: 1 – загрузочная горловина; 2 – кожух шлюзового дозатора; 3 – лопастной барабан; 4 – выгрузочная горловина

За время *t* лопастной барабан провернется на некоторый угол ωt.

Полезный объём дозатора, соответствующий углу ωt будет равен [121, 126]:

$$V_{\text{п}} = \frac{\omega t}{2}(R^2 - r^2)B \cdot K_{\text{г}}\,, \tag{2.6}$$

где B - ширина дозатора; $K_г$ - коэффициент использования объёма дозатора, учитывающий геометрические параметры лопастей [121, 126]:

$$K_{\text{г}} = 1 - \frac{V_{\text{л}}}{2\pi B(R^2 - r^2)}\,, \tag{2.7}$$

где $V_л$ - объём лопастей и заполнителей.

В зависимости от загрузки качества заполнения объёмных дозаторов изменяется. Принимая во внимание это обстоятельство, и с учетом уравнений (2.1) и (2.2), для производительности шлюзового дозатора запишем [121, 126]

$$Q_{\text{шд}} = \frac{V_{\text{п}}\rho_0 K_3}{t} = \frac{\omega}{Z}(R^2 - r^2)BK_{\text{г}}K_3\rho_0\,, \qquad (2.8)$$

где K_3 - коэффициент заполнения межлопастных объёмов шлюзового дозатора; ρ_0 - насыпная плотность гранулированных кормов.

Расход воздуха определяется из выражения [119, 120, 121, 125]

$$Q_p = bh_1\vartheta_1\,. \qquad (2.9)$$

Подставляя значения $Q_{\text{шд}}$ и $Q\ell_1$из выражений (2.8) и (2.9) в уравнение (2.6), получим

$$\mu_1 = \frac{\omega\rho_0}{2bh_1\vartheta_1}(R^2 - r^2)BK_{\text{г}}K_3. \qquad (2.10)$$

Учитывая уравнения (2.2), (2.10) для определения потерь напора на разгонном участке, будем иметь после преобразований

$$H_1 = \frac{\lambda_1\ell_1\rho\vartheta_1^2}{4\frac{\sqrt{bh}}{\pi}}\left[1 + \frac{tga_1\omega\rho_0 BK_{\text{г}}K_3(R^2 - r^2)}{2bh_1\vartheta_1}\right]. \qquad (2.11)$$

2.2 Потери напора на отдельных участках кормораздатчика

Потери напора на участке отсоса отработанного воздуха определим из условия протекания условно чистого воздуха, определяется из выражения [121,123,125]

$$H_3 = \lambda_4\frac{\ell_4}{Д_{\text{экв}}^4}\frac{\rho\vartheta_3^2}{2}, \qquad (2.12)$$

где λ_4- коэффициент сопротивления на участке от кормораздатчика до механизма отсоса воздуха; ℓ_4 - длина участка от кормораздатчика до механизма отсоса воздуха; ϑ_3- скорость потока воздуха на участке отсоса.

Эквивалентный диаметр воздуховода определяется из выражения

$$Д_{\text{экв}}^4 = 2\sqrt{\frac{bh_4}{\pi}}\,, \qquad (2.13)$$

где h_4 - высота воздуховода на участке отсоса воздуха.

Подставляя значение $Д_{\text{экв}}^4$ в уравнение (2. 12), получим [123]

$$H_3 = \lambda_4 \frac{\ell_4 \rho \vartheta_3^2}{4\sqrt{\frac{h_4 b}{\pi}}}. \qquad (2.14)$$

Транспортирующая способность пневматического кормораздатчика определяется напорной характеристикой кормового желоба. Известно, что величина давления и скорости воздуха по сечению воздуховода изменяется, т.е. от стенки к оси трубы увеличивается. Скорость воздуха в трубопроводе прямо пропорциональна динамическому давлению

$$\vartheta_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2P_{\text{дин}}}{\rho}}, \qquad (2.15)$$

где $P_{\text{дин}}$ – динамическое (скоростное) давление, Па; ρ - плотность воздуха, кг/м^3.

Эпюра распределения скоростей воздуха в воздуховоде (рис. 2.3 и 2.4) показывает, что величина υ_b имеет наибольшее значение по оси воздуховода. В кормораздатчике воздуховод разделяется на две части, посредством фильтрующего элемента: аэрожелоб и корможелоб (рис. 2.4). Если предположить, что сопротивление потока воздуха в аэрожелобе и корможелобе одинаково и фильтрующий элемент имеет определенную величину сопротивления, эпюра распределения скоростей чистого воздуха должна выглядеть таким образом, что скорость чистого воздуха в аэрожелобе ϑ_{b_1} равна скорости воздуха в корможелобе ϑ_{b_2}.

При поступлении корма в корможелоб соответственно увеличивается сопротивление потоку в корможелобе. Основной поток воздуха будет стремится в аэрожелоб, скорость потока в корможелобе по мере увеличения весовой концентрации μ будет снижаться, будет снижаться и транспортирующая способность кормораздатчика.

В начале кормораздатчика, после разгонного участка, объем для потока чистого воздуха резко увеличивается, скорость потока должна пропорционально изменению объема воздуховода уменьшаться (рис. 2.4). Если предположить, что сопротивление фильтра $R_{\text{ф}} = 0$, то можно принять, что

соотношение сечений разгонного участка и кормораздатчика обратно пропорционально соотношению скоростей воздушного потока по этим сечениям

$$\frac{S_0}{S_1} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} = \frac{H_1}{H_0} \ . \tag{2.16}$$

Этот же вывод можно сделать по известному выражению [126]

$$H_{\text{м}} = \lambda \frac{\ell}{\text{Д}} \frac{\rho \vartheta^2}{2} (1 + \kappa\mu), \tag{2.17}$$

где $H_{\text{м}}$ - потери напора при перемещении материала и воздуха горизонтального пневмотранспорта; λ – коэффициент сопротивления воздуховода при перемещении чистого воздуха; ϑ – средняя скорость воздуха; ℓ, Д - длина и диаметр воздуховода; ρ – плотность воздуха; μ – коэффициент весовой концентрации смеси; К - опытный коэффициент.

Если предположить, что ℓ, Д и ρ являются постоянными величинами, то выражение (2.36) можно записать в следующем виде [126]

$$H_{\text{м}} \cong \ell \vartheta^2 \mu, \tag{2.18}$$

то есть потери давления прямо пропорциональны длине транспортирования, квадрату скорости потока и коэффициенту весовой концентрации.

Так как в аэрожелобе протекает только чистый воздух, то его сопротивление зависит только от скорости воздушного потока и длины транспортирования, а в корможелобе дополнительные сопротивления создают частицы транспортируемого материала.

Исходя из выражений (2.15, 2.16 и 2.17) и эпюры распределения скоростей чистого воздуха в аэрожелобе и смеси воздуха и материала в корможелобе (рис. 2.3 и 2.4) по длине кормораздатчика можно анализировать энергетические параметры кормораздатчика, согласно которых для увеличения производительности и снижения энергоемкости необходимо предъявить следующие требования к фильтрующему элементу кормораздатчика (рис. 2.5):

- иметь переменное сопротивление по длине кормораздатчика: максимальное в начале и минимальное в конце кормораздатчика;

- иметь возможность максимально отделить корм от транспортируемого воздуха;

- создавать наименьшее сопротивление воздушному потоку при разделении воздуха и корма;

- не деформироваться под воздействием сил воздушного потока;

- создавать условия, при которых скоростной поток в основном проходил через корможелоб;

- иметь большой срок службы.

В пневматическом кормораздающем устройстве фильтрующий элемент разделяет воздушный поток на две части, которые с различной кинетической энергией будут перемещаться в аэрожелобе и корможелобе [34, 35]

$$Q = H_{\text{д}}^{a} + H_{\text{д}}^{\text{к}}, \tag{2.19}$$

где Q – динамическое напор входящего в кормораздатчик воздушного потока; $H_{\text{д}}^{a}$ - динамическое напор в аэрожелобе; $H_{\text{д}}^{\text{к}}$ - динамическое напор в корможелобе.

При этом напор воздушного потока в аэрожелобе и корможелобе взаимосвязаны, величина которых, зависит от величины сопротивления фильтрующего элемента, корможелоба и аэрожелоба

$$H_{\text{д}}^{\text{к}} = H_{\text{д}}^{a} \cdot \text{К}\,, \tag{2.20}$$

где К - коэффициент, зависящий сопротивления фильтра, аэрожелоба, корможелоба и скорости воздушного потока

$$\text{К} = f\left(R_{\text{ф}}, R_{a}, R_{\text{к}}, \vartheta\right). \tag{2.21}$$

Так как величины R_a, $R_{\text{к}}$ – сопротивления корможелоба и аэрожелоба являются величинами постоянными, $R_a = const;\ R_{\text{к}} = const,$ можно записать в следующем виде

$$\text{К} = f\left(R_{\text{ф}}, \vartheta\right). \tag{2.22}$$

Подставляя выражение (2.20) в (2.22), получим

$$H_{\text{д}} = H_{\text{д}}^{a}(1 + \text{К}). \tag{2.23}$$

2.3 Теоретическое обоснование процесса перемещения гранул в кормораздатчике прямоугольной формы, разделенной на две части при помощи фильтрующих элементов

В связи с тем, что физические процессы, происходящие при перемещении частиц корма воздушным потоком в кормораздатчике прямоугольного, разделенного на две части фильтрующим элементом не изучены и требуют исследования и теоретического обоснования. Проведен анализ физических процессов рабочего участка пневматического кормораздатчика.

Транспортирующая способность рабочего участка пневматического кормораздатчика определяется из скоростной характеристики корможелоба, т.е. зависит от величины кинетической энергии воздушного потока в корможелобе [35]

$$P_{\text{дин}} = \frac{V_b^2}{2g} \cdot \rho \quad \text{или} \quad V_b = \sqrt{\frac{2gP_{\text{дин}}}{\rho}}\ , \tag{2.24}$$

где $P_{дин}$ - динамическое или скоростное давление; ρ - плотность воздуха; g – ускорение свободного падения; V_b - скорость потока воздуха.

Эпюра распределения значений скорости чистого воздуха в трубопроводе (рис. 2.3) показывает, что величина скорости воздушного потока V_b, по сечению трубопровода различна, и в точках близких к оси, выше относительно точек близких к стенкам [35].

Рабочий участок кормораздатчика посредством фильтрующего элемента разделяется на две части: аэрожелоб и корможелоб (рис. 2.4). Если предположить, что сопротивления потоку воздуха в аэрожелобе и корможелобе одинакова, то эпюра значений скорости чистого воздуха будет изменятся по длине кормораздатчика в зависимости от напора в начале разряжения в конце рабочего участка (рис. 2.4). При этом максимальное значение скорости потока в корможелобе в начале участка, одинаково в середине и выше в конце

$$V_{1a} < V_{1k};\ V_{2a} = V_{2k};\ \ V_{3a} > V_{3k}, \tag{2.25}$$

где V_{1a}; V_{2a}; V_{3a} - максимальные значения скорости чистого воздуха в сечениях S_1, S_2, S_3 аэрожелоба; V_{1k}; V_{2k}; V_{3k} - максимальные значения скорости чистого воздуха в сечениях S_1, S_2, S_3 корможелоба.

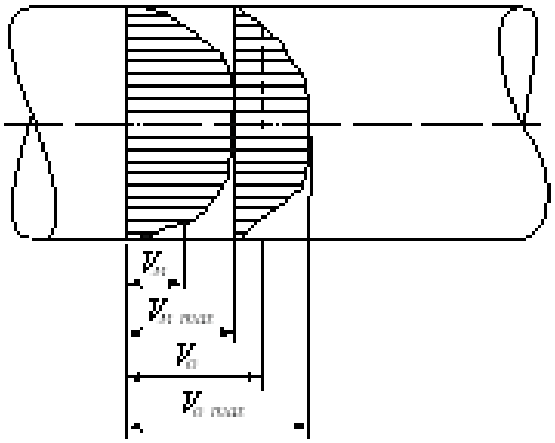


Рисунок 2.3 – Эпюра распределения скоростей воздуха в трубопроводе:
V_o и $V_{o\,max}$ - средняя и максимальная скорости движения воздуха и частицы;
$V_м$ и $V_{м\,max}$ - средняя и максимальная абсолютные скорости движения корма

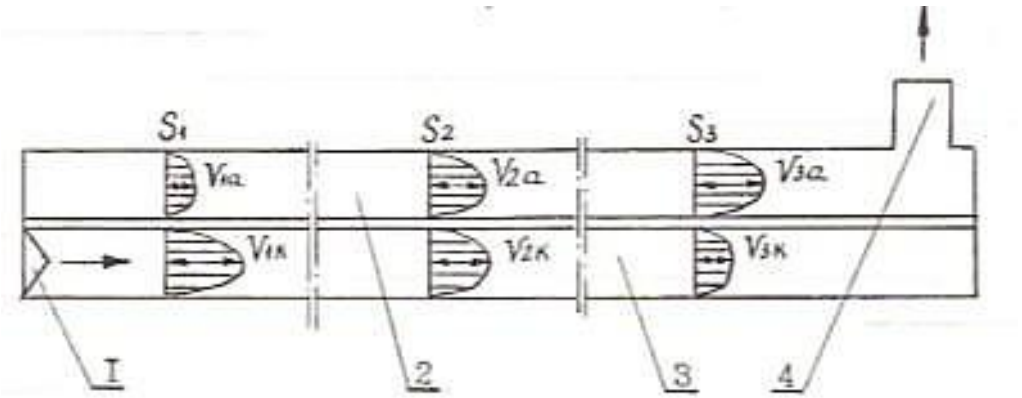


Рисунок 2.4 – Эпюра распределения скоростей воздуха в трубопроводе по длине фильтрующим элементом: 1– место подачи воздуха; 2 – аэрожелоб; 3 – корможелоб; 4 – место отсоса воздуха

Транспортирующая способность определяется из общеизвестного выражения

$$V_{\text{м}} = V_k - V_{\text{вит}}\ , \qquad (2.26)$$

где $V_м$ - абсолютная скорость движения корма; $V_к$ - скорость воздуха в корможелобе; $V_{вит}$ - скорость витания частиц корма.

При постоянной величине скорости витания корма $\vartheta_{\text{вит}} = const$, значение скорости движения корма зависит от значения скорости воздуха, то есть необходимым условием транспортирования является

$$V_{1,2} \dots i_k > \vartheta_{\text{вит}}\,, \tag{2.27}$$

где $V_{1,2} \dots i_k$ - скорость потока воздуха в различных сечениях корможелоба по длине рабочего участка.

В установившемся режиме, когда корможелоб по всей длине заполнен движущим потоком смеси гранул и воздуха, сопротивление потоку воздуха в корможелобе выше, чем в аэрожелобе, и зависит от величины весовой концентрации корма поток воздуха μ_1 будет стремиться в аэрожелобе по пути наименьшего сопротивления, т.е. в корможелобе снизится кинетическая энергия потока воздуха. При этом снижается транспортирующая способность установки и по сравнению с пневмотранспортом резко увеличивается удельная энергоёмкость процесса пневматической раздачи кормов.

Анализ движения воздушного потока в рабочем участке показали, что кинетическая энергия воздушного потока, в корможелобе, по мере движения от места подачи воздуха к месту отсоса воздуха, уменьшается, оба потока воздуха, в аэрожелобе и корможелобе, взаимосвязаны и их соотношение зависит от давления нагнетаемого воздуха, величины разрежения на основе, сопротивления фильтрующего элемента, длины кормораздатчика. Если принять за основу, что давление нагнетаемого воздуха $P_1 = const$, разрежение отсоса $P_2 = const$, длина кормораздатчика $\ell_2 = const$, то энергоемкость процесса зависит от сопротивления фильтрующего элемента.

Исходя из эпюр распределения скоростей потока воздуха и анализа происходящего физического процесса в аэрожелобе и корможелобе, было предъявлено следующее требование к фильтрующему элементу:

- иметь переменное сопротивление по длине кормораздатчика, максимальное в начале и минимальное в месте накопления гранул;

- иметь возможность максимально отделить корм от транспортирующего воздуха;

- не деформироваться под воздействием сил воздушного потока;

- иметь возможность направлять силу воздушного потока в корможелоб, т.е. создавать условия, при которых скоростной поток в основном проходил через корможелоб.

- иметь большой срок службы и возможность перемещения по горизонтали в целях изменения объёма корможелоба, т.е. нормы выдачи корма.

Всем этим требованиям отвечает фильтрующий элемент, изготовленный из металлической сетки или хлопчатобумажной ткани и установленными над ним направляющими пластинами (рис. 2.5, *а*). При этом, переменное сопротивление создаётся за счет изменения расстояния между пластинами по длине фильтра (рис.2.5, *б*).

Возможность перемещения фильтрующего элемента по горизонтали необходимо для изменения нормы выдаваемого корма различным половозрастным группам животных.

Норма кормления овец гранулированными кормами определяется из общеизвестного выражения

$$n = \frac{2L \cdot b \cdot h \cdot \gamma \cdot a}{m}, \qquad (2.28)$$

где n - норма кормления в кормовых единицах в сутки; L - длина фронта кормления; b и h - ширина и высота корможелоба; γ - объёмный вес гранул; a– количество кормовых единиц в 1 кг гранул; m –поголовье овец; 2 - двухразовое кормление.

Как видно из уравнения дозирование кормов зависит только от одного параметра h - высоты корможелоба, так как другие параметры корможелоба дозирующего органа – как длина и ширина являются постоянными величинами.

Ширина корможелоба принята больше его высоты, так как проведенные исследования показали, что при горизонтальном пневматическом

транспортировании кормов в кормопроводах с большой площадью основания, энергия транспортирующего воздуха используется лучше.

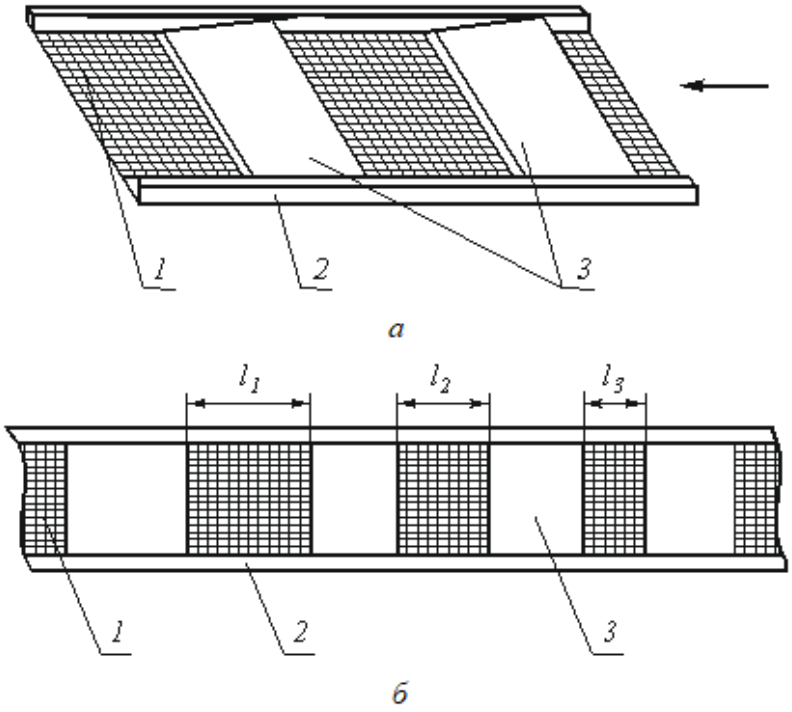


Рисунок 2.5 – Фильтрующий элемент: а) – направляющих пластин по направлению потока воздуха; в) – установка направляющих пластин по длине кормораздатчика; 1 – металлическая сетка; 2 – каркас фильтра; 3 – направляющие пластины

Потери напора в кормораздатчике состоят из следующих слагающих [35]

$$H_2 = H_2^a + H_2^k + H_2^{\phi}\,, \qquad (2.29)$$

где H_2^a - потери напора в аэрожелобе; H_2^k- потери напора в корможелобе; H_2^{ϕ}- потери напора, создаваемого сопротивлением фильтрующего элемента и направляющих пластин.

Потери напора в аэрожелобе определяется из условия транспортирования условно чистого воздуха по известному выражению [35]

$$H_2^a = \lambda_2 \frac{\ell_2}{Д_{экв}^{///}} \cdot \frac{\rho \vartheta_a^2}{2}; \qquad Д_{экв}^a = 2\sqrt{\frac{h_a \cdot b}{\pi}}\,. \qquad (2.30)$$

Поставляя выражение $Д_{экв}^a$ получим [35]

$$H_2^a = \lambda_2 \frac{\ell_2 \rho \vartheta_a^2}{4\sqrt{\frac{hab}{\pi}}}, \quad (2.31)$$

где ϑ_a- скорость потока воздуха в аэрожелобе; h_a - высота по сечению аэрожелоба; b - основание корморазда тчика; λ_2 - коэффициент сопротивления в аэрожелобе.

По аналогии с выражением (2.2) для значения падения давления в корможелобе, справедливо следующее выражение

$$H_2^k = \lambda_3 \frac{\ell_2}{Д_{экв}^k} \cdot \frac{\rho \vartheta_k^2}{2}(1 + tga_2\mu_2), \quad (2.32)$$

где λ_3 - коэффициент сопротивления корможелоба при перемещении чистого воздуха; ϑ_k- текущее значение средней скорости воздуха в корможелобе; ℓ_2 - длина рабочего участка; $Д_{экв}^k$ - эквивалентный диаметр корможелоба; μ_2- коэффициент расходной весовой концентрации для корможелоба; $K_2 = tga_2$ - опытный коэффициент.

$$Д_{экв}^k = 2\sqrt{\frac{hkb}{\pi}}. \quad (2.33)$$

Подставляя значение $Д_{экв}^k$ в выражение (2.20), получим

$$H_2^k = \lambda_3 \frac{\ell_2 \rho \vartheta_k^2}{4\sqrt{\frac{hkb}{\pi}}}(1 + tga_2\mu_2). \quad (2.34)$$

При прохождении потока воздуха через пористую перегородку, т.е. фильтрующий элемент, падение давления зависит от скорости потока и сопротивления перегородки, а также от площади фильтра [35]

$$H_2^{ф} = K_{ф} \frac{\vartheta_k^2 \rho}{2 \cdot \ell b} = K_{ф} \frac{\vartheta_k^2 \cdot \rho}{2S_{ф}}, \quad (2.35)$$

где $K_ф$- коэффициент сопротивления фильтра, зависящее от размеров ячейки и числа Рейнольдса; ℓ - рабочая длина фильтра; b - ширина фильтра; $S_ф$ - площадь фильтра.

Представляя значения H_2^a, H_2^k, H_2^{ϕ} , соответственно из выражений (2.31), (2.34) и (2.35), в уравнении (2.29), получим значение падения напора в кормораздатчике [34, 35]

$$H_2 = \lambda_2 \frac{\ell_2 \rho \vartheta_a^2}{4\sqrt{\frac{hab}{\pi}}} + \lambda_3 \frac{\ell_2 \rho \vartheta_k^2}{4\sqrt{\frac{hkb}{\pi}}}(1 + tg a_2 \mu_2) + K_{\phi} \frac{\vartheta_k^2 \rho}{2S_{\phi}} =$$

$$= \lambda_2 \frac{\ell_2 \rho \vartheta_a^2}{4\sqrt{\frac{hab}{\pi}}} + \frac{\rho \vartheta_k^2}{2}\left[\lambda_3 \frac{\ell_2}{2\sqrt{\frac{hkb}{\pi}}}(1 + tg a_2 \mu_2) + \frac{K_{\phi}}{S_{\phi}}\right]. \quad (2.36)$$

В связи с тем, что скорость смеси воздуха и корма в корможелобе является сложной функцией, зависящей от многих факторов и его измерение связано с техническими трудностями, определим его зависимость от скорости воздуха в аэрожелобе и разгонном участке [104]

$$Q_p = Q_a + Q_k \,, \quad (2.37)$$

где Q_p - количество воздуха, подаваемое в кормораздатчик в момент времени; Q_a - расход воздуха через сечение аэрожелоба в момент времени; $Q_к$ - расход воздуха через сечение корможелоба в момент времени.

Величину Q_a выразим через текущее среднее значение скорости потока воздуха и размеры аэрожелоба [104]

$$Q_a = \vartheta_a \cdot b \cdot h_a. \quad (2.38)$$

Соответственно для корможелоба [104]

$$Q_k = \vartheta_k \cdot b \cdot h_k \,. \quad (2.39)$$

Так как количество воздуха, подаваемое в кормораздатчик, равно расходу воздуха через сечение разгонного участка в момент времени *t*, то выражение (2.37) с учетом уравнений (2.38) и (2.39) примет вид

$$\vartheta_1 \cdot b \cdot h_p = \vartheta_a \cdot b \cdot h_a + \vartheta_k \cdot b \cdot h_k \,. \quad (2.40)$$

Из этого выражения определим значение ϑ_k

$$\vartheta_k = A \cdot \vartheta_1 - B \cdot \vartheta_a \,, \quad (2.41)$$

где $A = \frac{h_p}{h_k}$; $B = \frac{h_a}{h_k}$ - постоянные коэффициенты, зависящие от конструктивных размеров разгонного участка и корнораздатчика при одинаковой ширине оснований.

Подставляя выражения (2.41) в уравнение (2.36), получим [104]

$$H_2 = \lambda_2 \frac{\ell_2 \rho \vartheta_a^2}{4\sqrt{\frac{hab}{\pi}}} + \frac{\rho(A\vartheta_1 - B\vartheta_a)}{2}\left[\lambda_3 \frac{\ell_2}{2\sqrt{\frac{hkb}{\pi}}}(1 + tga_2\mu_2) + \frac{K_\phi}{S_\phi}\right]. \quad (2.42)$$

2.4 Анализ затрат энергии на пневматическом корнораздатчике

Суммарные затраты энергии на заполнение корможелоба равняется [47]

$$W_\Sigma = W_1 + W_2 + W_3\,, \quad (2.43)$$

где W_1- затраты энергии на участке разгона; W_2- затраты энергии в корнораздатчике; W_3- затраты энергии на участке отсоса воздуха.

Напор на разгонном участке, требуемый для преодоления изменяющегося сопротивления, будут определяться согласно уравнения (2.43).

Необходимые затраты энергии для установившегося режима работы корнораздатчика за время *dt* будут выражаться следующей формулой [47]

$$dW_1 = h_1 b H_1 d\ell\,, \quad (2.44)$$

где $d\ell = \vartheta_1 dt$ - величина перемещения кормо-газовой смеси за время *dt.*

Полные затраты энергии на разгонном участке равняются

$$W_1 = \int_O^T h_1 b \cdot H_1 \vartheta_1 dt. \quad (2.45)$$

После подставки в формулу (2.45) значения потерь напора из выражения (2.11) будем иметь [47, 104]

$$W_1 = \int_O^T h_1 b \lambda_1 \ell_1 \rho \vartheta_1^3 \frac{1}{4\sqrt{\frac{h_1 b}{\pi}}}\left[1 + tga\omega\rho_0 B K_\text{г} K_3 (R^2 - r^2) \cdot \frac{1}{20 b h_1 \vartheta_1}\right] \cdot dt. \quad (2.46)$$

Проводя аналогичные рассуждения, затраты энергии в корнораздатчике можно выразить уравнением [47, 104]

$$W_2 = \int_O^T bh_a\lambda_2\rho[f_a(\ell)]^2 \cdot \frac{1}{4\sqrt{\frac{h_a b}{\pi}}} + \int_{\ell_2}^O U_k b \frac{\rho}{2}[A\vartheta_1 - Bf_a(\ell)]^2 \cdot$$

$$\cdot \left[\lambda_3 \frac{\ell_2}{2\sqrt{\frac{hab}{\pi}}}(1 + tga_2\mu) + \frac{K_\phi}{S_\phi}\right] d\ell \,. \qquad (2.47)$$

Величину ϑ_1 – скорости потока в аэрожелобе, представляющую собой более сложную функцию времени, следует определить экспериментально и подставить ее в уравнение (2.45) и провести интегрирование графическим путем.

Для W_3 - затраты энергии на участке отсоса отработанного воздуха справедливо выражение

$$W_3 = \int_{\ell_2}^O bh_4 H_3 d\ell \,. \qquad (2.48)$$

Произведя подстановку значений H_3 из уравнения (2.33), получим

$$W_3 = \int_{\ell_2}^O bh_4 \lambda_4\rho\vartheta_3^2 \frac{1}{4\sqrt{\frac{h_4 \cdot b}{\pi}}} d\ell \,. \qquad (2.49)$$

Таким образом, суммарные затраты энергии на полное заполнение корможелоба, будут

$$W_3 = \int_{\ell_2}^O bh_4 \lambda_4\rho\vartheta_3^2 \frac{1}{4\sqrt{\frac{h_4 \cdot b}{\pi}}} \cdot d\ell + \sum W_3 = bh_4\lambda_4\rho\vartheta_3^2 \,. \qquad (2.50)$$

Удельная энергоёмкость процесса раздачи кормов будет определятся по выражению:

$$N_{\text{уд}} = \frac{W_2}{Q_{\text{пн}} \cdot \ell_a} \,. \qquad (2.51)$$

где $Q_{\text{пн}}$ - производительность пневматического кормораздатчика.

Для выбора воздуходувных машин определим максимальное гидравлическое сопротивление системы приема, транспортировки и раздачи кормов, подставляя значения потерь давления на разгонном участке H_1, кормораздатчике H_2 и на участке отсоса отработанного воздуха H_3 в уравнение (2.43) [47, 104]

$$H_{\Sigma} = \frac{\lambda_1 \ell_1 \rho \vartheta_1^2}{4\frac{\sqrt{bh}}{\pi}}\left[1 + \frac{tga_1 \omega \rho_0 B K_{\text{г}} K_3 (R^2 - r^2)}{2bh_1 \vartheta_1}\right] +$$

$$+ \lambda_2 \frac{\ell_2 \rho \vartheta_a^2}{4\sqrt{\frac{hab}{\pi}}} + \frac{\rho(A\vartheta_1 - B\vartheta_a)}{2}\left[\lambda_3 \frac{\ell_2}{2\sqrt{\frac{hkb}{\pi}}}(1 + tga_2\mu_2) + \frac{K_{\text{ф}}}{S_{\text{ф}}}\right] + \lambda_4 \frac{\ell_4}{Д_{\text{экв}}^4}\frac{\rho \vartheta_3^2}{2}. \quad (2.52)$$

С учетом

$$H_3 = \lambda_4 \frac{\ell_4}{Д_{\text{экв}}^4}\frac{\rho \vartheta_3^2}{2} = \frac{W_2}{Q_{\text{пн}} \cdot \ell_2} \quad (2.53)$$

последнее уравнение можно выразить следующим образом

$$H_{\Sigma} = \frac{\lambda_1 \ell_1 \rho \vartheta_1^2}{4\frac{\sqrt{bh}}{\pi}}\left[1 + \frac{tga_1 \omega \rho_0 B K_{\text{г}} K_3 (R^2 - r^2)}{2bh_1 \vartheta_1}\right] +$$

$$+ \lambda_2 \frac{\ell_2 \rho \vartheta_a^2}{4\sqrt{\frac{hab}{\pi}}} + \frac{\rho(A\vartheta_1 - B\vartheta_a)}{2}\left[\lambda_3 \frac{\ell_2}{2\sqrt{\frac{hkb}{\pi}}}(1 + tga_2\mu_2) + \frac{K_{\text{ф}}}{S_{\text{ф}}}\right] + \frac{W_2}{Q_{\text{пн}} \cdot \ell_2}. \quad (2.54)$$

Выводы по главе 2

1. Транспортирующая способность пневматической системы приёма, транспортировки и раздачи кормов и, как следствие, эффективность функционирования кормораздатчика зависит от напорной характеристики отдельных его участков. Принимая во внимание конструктивные особенности пневматического транспортирования гранулированного корма, кормораздатчик разделен на три участка: разгонный участок, рабочий участок и участок отсоса отработанного воздуха.

2. Дано теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров и теория рабочего процесса пневматического кормораздатчика

3. Выведены математические зависимости и анализированы потери давления и затраты энергии на отдельных участках кормораздатчика.

Глава 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа и методика лабораторного исследования

С целью проверки теоретических предпосылок и выбора параметров технологического процесса пневматического кормораздатчика для раздачи гранулированных кормов овцам, изложенных во второй главе, проводились лабораторные и производственные исследования.

В качестве объектов экспериментального исследования были выбраны следующие пневматические кормораздатчики:

– пневматические кормораздатчики с аэро – и корможелобом четырёхугольными поперечными сечениями без -и с регулированием воздушного потока при помощи направляющих пластин (малый патент № TJ 1440), а также с регулированием потока воздуха изменением площади воздушных окон между воздушным и кормовым желобами, оснащенными одно-и двухстворчатыми разгрузочными устройствами (малый патент № TJ 1658).

Программа исследований предполагала:

- изучение физико-механических и аэродинамических свойств гранулированных кормов;

- определение технико-экономических, энергетических и качественных показателей пневматических кормораздатчиков;

- проверка теоретических предпосылок, связанных с анализом потерь напора на различных участках кормораздатчиков, обоснованием рабочих режимов и конструктивных параметров кормораздающих установок и их энергетической эффективности;

- определение оптимальных режимов работы и конструктивных параметров пневматического кормораздатчика (давление вентилятора P, производительность шлюзового дозатора Q и отношение площадей корможелоба и кормораздатчика Z).

Поведение гранулированных кормов в кормораздатчике определялись на основе исследования по физико-механических и аэродинамических свойствам кормов, приготовленных по различным рецептам, рекомендованным Министерством сельского хозяйства Республики Таджикистан (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Рецепты гранулированных кормов

Наименование компонентов	Содержание компонентов в рецепте, в %						
	1	2	3	4	5	6	7
Сено	40	-	30	30	40	-	-
Шелуха	30	-	-	-	-	-	-
Комбикорм	28	-	28	28	14	-	-
Кормовой фосфат	1,0	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Карбамид	0,5	-	1,0	1,0	-	-	-
Солома	-	-	30	30	30	53	53
Витаминная мука	-	100	-	10	-	-	-
Выжимки виноградные	-	-	10	-	10	-	-
Концентраты зерна	-	-	-	-	5,0	45	-
Концентраты кукурузы	-	-	-	-	-	-	45
Соль	0,5	-	-	-	-	0,5	0,5
Дрожжи	-	-	-	-	-	0,5	0,5

В программу исследований физико-механических и аэродинамических характеристик гранулированных кормов входило определение:

- гранулометрического состава кормов;
- угла естественного откоса;
- коэффициента трения;
- влажности кормов;
- скорости витания кормов;
- объемного веса гранул в насыпном виде;
- крошимости гранул;
- объемного веса гранул при подаче воздушным потоком;
- точности дозирования.

Гранулированные корма по рецепту № 1, 2, 3 предназначены для крупного рогатого скота, а по рецепту № 4, 5, 6 и 7 – для кормления овец.

Компоненты гранулированных кормов измельчались на машинах «Волгарь» и на универсальной кормодробилке КДУ-2; витаминно-травяная мука приготовлялась на агрегате АВМ-0,65. Компоненты смешивались в смесителе С-12 или в шнековом смесителе. Гранулирование осуществлялось агрегатом ОГМ-0,8. Дозировка компонентов производилась приспособленными агрегатами 1РМГ-4 (разбрасыватель минеральных удобрений) по времени и удельному весу, а также тарельчатыми дозаторами типа ДДТ-200. Микродобавки вносились в растворенном виде в емкость для воды агрегата ОГМ-0,8.

Исследование физико-механических характеристик проводилось в соответствии с требованиями стандартов: определение относительной влажности по ГОСТ Р 57059 - 2016; отбор образцов гранул по ГОСТ 13496.0-2016.

При исследовании физико-механических и аэродинамических свойств кормов использовались как общеизвестные, так и разрабатывались частные методики.

Например, важным испытанием для кормораздатчиков является точность дозирования, которая выполнилось по способу, предложенному А. П. Петровым и С.В. Ларкиным: «Способ испытания кормораздатчика на точность дозирования заключается в отборе проб с последующим их подбором, взвешиванием и обработкой полученного результата методом математической статистики. Отбор проб дозируемого материала осуществляют на грузонесущем органе в виде ленточного транспортера, преобразующем их массу при помощи тензодатчика в пропорциональный электрический сигнал, который усиливают и подают в быстродействующее самопишущее устройство. При этом одновременно записывают сигналы от отметчика времени и от датчика линейной скорости ленточного транспортера. Затем по средней ординате сигнала от тензодатчика на диаграммной ленте быстродействующего самопишущего устройства, за промежуток времени взятия пробы, вычисляют ее массу. Технический результат изобретения состоит в повышении

достоверности данных и упрощении способа при одновременном сокращении трудоемкости» [87, с.1].

Результаты исследований обрабатывались на основе методики, предложенной А.М. Валге, Н.И. Джабборовым и В.А. Эвиевым [7] и методами математической статистики согласно РТМ 60-42 [96].

Анализируя современные методы обработки экспериментальных данных с использованием программных продуктов и пакетов программ, авторы А.М. Валге, Н.И. Джабборов и В.А. Эвиев, отмечают, что: «… Наибольшее распространение получили статические пакеты: STATGRAPHICS, STATISTIKA, SPSS различных версий.

Эти программные продукты более менее равнозначны при простой обработке данных и отличаются возможностями при решении многомерных статистических задач.

По мнению автора наиболее соответствующей применительно к задачам механизации и электрификации сельскохозяйственного производства является пакет STATGRAPHICS. Пакет имеет расширенный графический интерфейс и дополнительные вычислительные опции, в частности для многомерной обработки данных и решения оптимизационных задач. Достаточно большими возможностями для статистических расчетов обладает табличный процессор EXCEL, как правило, установленный на каждом компьютере…» [8, с.12].

Гранулометрический состав корма определялся с помощью ситового анализа на лабораторном рассеве. Средний размер частиц подсчитывался по формуле

$$d_{cp} = \frac{\sum P_i \cdot di_{cp}}{100}, \qquad (3.1)$$

где d_{cp}- средний диаметр частиц, м; P_i - весовой выход фракции, %; di_{cp}- средний диаметр частиц фракции, м.

При определении угла естественного откоса гранул был использован специальный прибор, сконструированный Макшанцевым Ю.А. [61] при

помощи которого сыпучесть гранулированных кормов определяется следующим образом (рис. 3.1).

Плоскость 1 с помощью регулируемых опор 3 вместе со столиком 4 устанавливают горизонтально по уровню 5. Насыпают исследуемый материал, затем поднимают столик рукояткой 6, исследуемый материал начинает отсыпаться со столика, образуя угол естественного откоса, который измеряется с помощью оптического угломера 2.

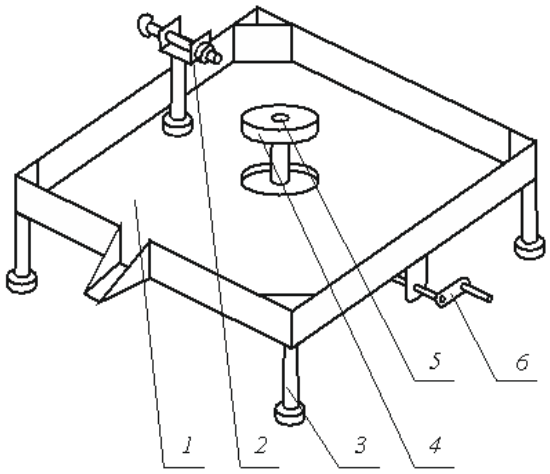


Рисунок 3.1 – Прибор для определения угла естественного откоса сыпучих материалов: 1 – плоскость; 2 – оптический угломер; 3 – регулируемые опоры; 4 – столик; 5 – уровень; 6 – рукоятка для подъема столика

Основные виды трения, возникающие при взаимодействии рабочих органов пневматического корморазда тчика с гранулированными кормами, а также коэффициент трения определяются на приборе трения (рис. 3.2) [15].

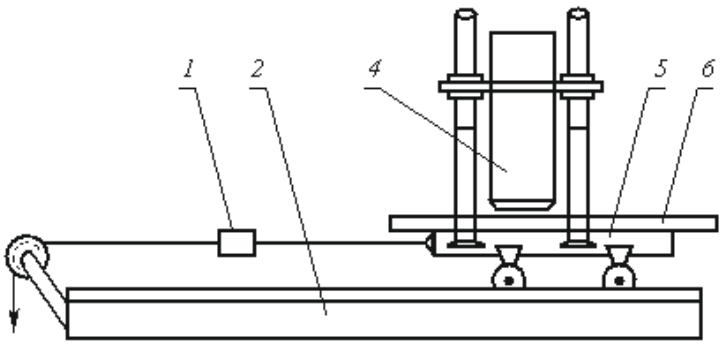


Рисунок 3.2 – Схема прибора для изучения трения: 1 – динамометр; 2 – станина; 3 – цилиндр; 4 – тележка; 5 – поверхность трения

Прибор состоит из станины 2, по которой движется тележка 4, над тележкой был установлен цилиндр 3 диаметром 70 мм и высотой 120 мм. Движение тележки осуществлялось с помощью гибкой тяги, сила натяжения которой определялось динамометром 1. Первоначально на тележке была закреплена поверхность трения 5 и зарегистрировано показание динамометра на холостом ходу тележки. Затем тележку с закрепленной на ней исследуемой поверхностью трения возвращали в исходное положение (цилиндр находился над передней частью поверхности трения) и цилиндр загружали кормом определенного веса. При положении силы тяги динамометр дает показания усилий, необходимых для движения тележки. Опыт заканчивается, когда тележка передвигается до конечной точки, при этом цилиндр должен находиться над заднем крайнем положением испытываемой поверхности трения.

Коэффициенты трения вычислялись по формуле

$$f = \frac{\tau - c}{H}, \tag{3.2}$$

где f – коэффициент трения; H – нормально сжимающее усилие, Па; τ - удельное сдвигающее усилие (предельное напряжение скольжения), Па; c – начальный участок прямой, определяющий часть сопротивления сдвигу, называемую удельным прилипанием, Па.

Величина удельного усилия определяется из выражения

$$\tau = \frac{P - P_x}{S}, \tag{3.3}$$

где P – движущая сила, необходимая для трогания или движения тележки, Н; P_x – движущая сила при холостом ходе тележки, Н; S – площадь истинного контакта, м^2.

В процессе опытов температура кормов поддерживалась постоянной, поскольку она влияет на их физико-механические свойства. Опыты проводились для гранул, движущихся по поверхности металлического листа, окрашенной эмалевой краской в 2 слоя краскопультом.

Влажность гранулированных кормов определялась методом взвешивания до и после сушки. Определенную навеску корма (10г) помещали в предварительно взвешенной бюксе. Взвешивание бюкса с кормом производилось на технических весах с точностью до 0,01г. Сушка кормов производилась в электросушильном шкафу при температуре 130^0С в течение 40 минут. После сушки бюкс с закрепленной крышкой, охлаждали на эксикаторе в течение 20 …30 минут до комнатной температуры. Затем бюкс с навеской взвешивался.

Процентное содержание влаги в корме вычислялся по формуле.

$$W = \frac{m_b \cdot 100}{m_k}, \% \qquad (3.4)$$

где m_b - масса испаренной влаги, г; m_k - навеска корма, г.

Скорость витания гранулированных кормов определялась на специальной установке, состоящей из воздуходувной машины, регулятора скорости подаваемого воздуха, стеклянной трубки длиной 700 мм и диаметром 50 мм, анемометра чашечного типа, марки МС-13 и жидкостьного манометра.

Скорость витания определялся анемометром, когда гранулы находились во взвешенном состоянии при подаче воздуха снизу вверх по вертикально установленной стеклянной трубке (рис. 3.3).

Рисунок 3.3 – Определение скорости витания гранулированных кормов на экспериментальной установке

Удельная масса гранул в насыпном виде определялся взвешиванием количества корма, насыпанного в специально изготовленном кубе размером 1000см^3. Измерение удельной массы гранул производилось на технических весах с точностью измерения до 1 гр.

Удельная масса гранулированного корма определялась по формуле

$$\gamma_{\text{гк}} = \frac{m_k \cdot 100}{\mathrm{V_k}} \text{ , \%} \qquad (3.5)$$

где m_k – масса навески корма, г; V_k – объем навеска корма, м^3.

Крошимость гранулированных кормов определялась на специально изготовленной установке (рис. 3.4). Для определения крошимости гранул выделяли образец, весом 1 кг, с определенной средней длиной, который засыпали в барабан из листовой стали диаметром, равным 350 мм, длиной 600 мм. Барабан вращали в течение 4 минут со скоростью 25 мин$^{-1}$.

Крошимость гранул выявляли по формуле

$$K = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100 \text{ , \%} \qquad (3.6)$$

где m_1 - масса гранул диаметром 1 мм и меньше, полученные после обработки в барабане, г; m_2 – навеска гранул, г.

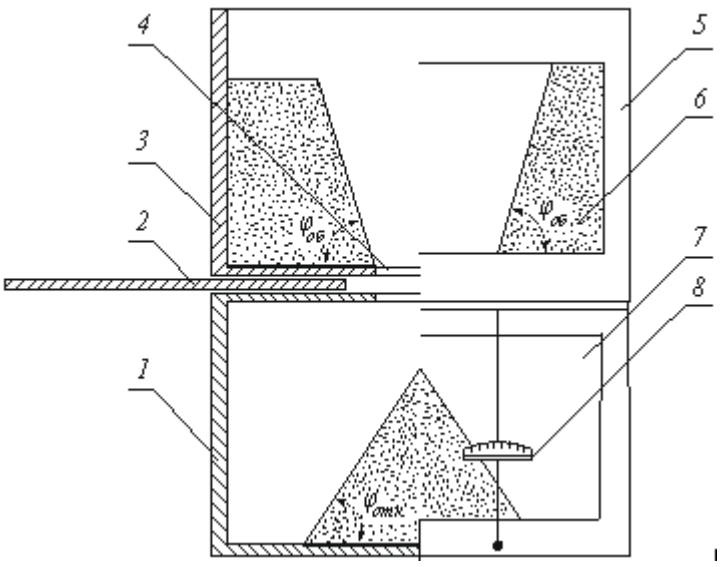


Рисунок 3.4 – Прибор для определения крошимости гранул: 1 - нижний ящик; 2 – заслонка; 3 - верхний ящик; 4 – окно; 5, 7 - боковые стенки из стали; гранулированные корма; 8 - транспортер с отвесом

3.2 Описание экспериментального образца пневматического корморазда тчика

В связи с тем, что работа стационарного пневматического корморазда тчика с дозирующим устройством не исследовалась, а также из-за ограниченности литературных данных, было принято решение о разработке и изготовлению лабораторный вариант экспериментальной установки. При этом, было предусмотрено возможности варьирования всех влияющих факторов на эффективность функционирования устройства для раздачи кормов и визуального наблюдения за процессом (боковые части корморазда тчика были изготовлены из прозрачного стекла) и возможность установки датчиков, приборов.

Лабораторные исследования параметров рабочего процесса пневматического раздатчика гранулированных кормов проводились на экспериментальной установке, включающей раздатчик кормов, вентилятор высокого давления, бункер-накопитель для гранулированных кормов, дозирующие устройства с регулирующим приводом, а также регистрирующей и измерительной аппаратуры.

Экспериментальный раздатчик кормов (рис. 3.5) представляет собой стационарную установку, состоящую из расположенной над кормушкой 1 горизонтального кормо -и аэрожелоба 2 и 3, причем, корможелоб выполнен с откидным днищем, опорожнения корможелоба, воздухопровод 4 для подачи обработанного воздуха в вентилятор марки ВВД №8 высокого давления 6 для повторного использования. Вентилятор высокого давления соединен с бункером-дозатором в виде шлюзового затвора с регулируемым электроприводом 5, которые приводятся от электродвигателя 8 через ременную передачу 7. Корможелоб отделен от аэрожелоба фильтрующим элементом. При полном заполнении корможелоба датчик, воздействуя на промежуточное реле отключит электродвигатель шлюзового дозатора, вследствие чего прекращается подача гранул в кормопровод. Затем отключится вентилятор. После чего

открывается днище кормораздатчика, и гранулы под своим весом высыпаются в асбоцементные кормушки по всей длине фронта кормления.

Рисунок 3.5 – Экспериментальный стационарный пневматический раздатчик гранулированных кормов: 1 – кормушка; 2- корможелоб; 3-аэрожелоб; 4-патрубок обратного воздуха; 5 - бункер-питатель; 6 – вентилятор высокого давления; 7 – ременная передача; 8-электродвигатель; 9 - рама

Кроме того, предлагаемая экспериментальная лабораторная установка дополнительно содержит следующие основных узлы, агрегаты и приборы:

– редуктор и электродвигатель постоянного тока с последовательной обмоткой возбуждения;

– разгонного участка из прямоугольного воздуховода сечением 200 х 100 мм и длиной 6,0 м;

– фильтрующий элемент для разделения воздуха и гранул, состоящего из деревянных реек и мелкоячеистой металлической сетки;

– шиберное устройство в вентиляторах для регулирования значения давления и разрежения;

– датчиков – трубок Пито в количестве 5 шт., жидкостные манометры для измерения давления и разрежения;

– стоек для крепления кормораздатчика на кормушках;

– асбоцементные кормушки диаметром $Д_{вн}$ = 315 мм и глубиной 160 мм, длиной 7,8 м;

– комплект приборов К-50 для измерения напряжения, тока и мощности;

– анемометры ручные, чашечные марки МС-13;

– тахометр электрический;

– секундомер;

– микроманометр типа ММА;

– пускорегулирующая аппаратура;

– комплект приборов К-50 для измерения напряжения, тока и мощности;

– анемометры ручные, чашечного типа, марки МС-13;

– тахометра электрической марки;

– секундомер.

Крышки кормораздатчика, изготовлена из пластмассы, толщиной 3мм. Для крепления боковин, выполненной из стекла толщиной 3 мм и крышки кормораздатчика предусмотрены деревяные бруски с пазами. Фильтрующий элемент выполнен из металлической сетки (ячейки 0,7х0,7 мм), натянутой на деревянный каркас. Для подъема и опускания фильтрующего элемента предусмотрен специальный механизм. Днище, выполнено из плоского асбоцементного листа толщиной 5 мм. Стойки для крепления кормораздатчика на асбоцементных кормушках диаметром $Д_{вн}$ =315 мм, выполнены из стальных труб диаметром 15 мм.

Для определения энергетической эффективности пневматического кормораздатчика и равномерности раздачи гранулированных кормов овцам важное значение имеет физико-механические, экономические и экологические характеристики кормов, конструктивные особенности кормораздатчика и удельные затраты энергии на транспортирование единицы корма, качественные и другие показатели раздачи гранулированных кормов.

Измерение веса гранул на метровом участке кормушки производился счетными весами типа СЧ-50А точностью измерения до 20 гр. Скорость воздушного потока измерялся чашечными анемометрами марки МС-13 в конце кормораздатчика.

Скорость кормосмеси определялся из выражения:

$$\vartheta_{\text{м}} = \vartheta_0 - \vartheta_{\text{выт}} , \qquad (3.7)$$

где ϑ_0 - скорость потока чистого воздуха, м/с; $\vartheta_{\text{выт}}$ - скорость витания гранул, м/с.

Удельная масса гранулированных корм, отнесенная на 1 погонный метр корможелоба определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{m_{\text{кж}}}{V_{\text{кж}}}, \tag{3.8}$$

где $m_{кж}$ – вес гранул на метровом участке, кг; $V_{кж}$ – объем на метровом участке, м^3.

Удельный вес гранул при подаче воздушным потоком определялся при различных скоростях потока воздуха.

Изготовленная лабораторная установка была обеспечена максимальной герметизацией швов открывающей части.

Электропривод шлюзового дозатора с электродвигателем позволяет плавно регулировать скорость вращения вала дозатора.

Конструкции лабораторной установки пневматического кормораздатчика позволяло изменить как объем корможелоба, так и объем аэрожелоба вне зависимости друг от друга.

Угол наклона направляющей пластины под дозатором изменяли регулирующим винтом, находящимся под воздуховодом.

Привод вентилятора среднего давления осуществляется от электродвигателей мощностью 7,5 кВт с помощью клиноременной передачи. Клиноременная передача позволяла ступенчато изменять частоту вращения вентилятора от 1800…2500 мин$^{-1}$ за счет набора сменных шкивов, т.е. давления воздушного потока. (рис. 3.6).

Для варьирования таких конструктивных факторов, как давление вентилятора, площади сечения разгонного участка, так и отсасывающего воздуховода, лабораторная установка имела набор сменных вентиляционных труб различных сечений.

Ширина фильтрующего элемента изменялся путем крепления тонколистовой стали различной ширины по всей длине считанной перегородки.

При проведении исследований для измерения давления воздушного потока на воздуховоде до шлюзового дозатора была установлена пневмометрическая трубка (рис. 3.7) конструкции МИОТ и микроманометр жидкостный (рис. 3.8). Специальная конструкция, на которую была установлена пневмометрическая трубка, давала возможность измерения давления воздушного потока по всей высоте воздуховода.

Рисунок 3.6 – Привод вентилятора среднего давления

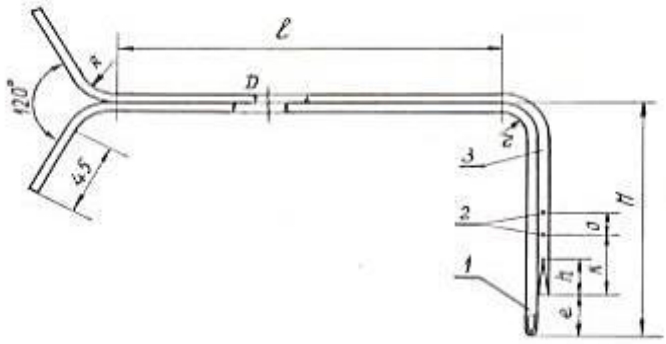


Рис. 3.7 – Пневмометрическая трубка МИОТ: 1- трубка для измерения статического давления; 2 – трубка для измерения полного давления

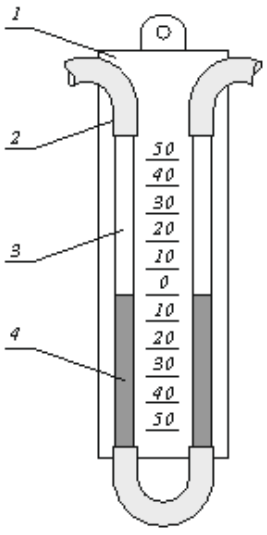


Рисунок 3.8 – Жидкостный манометр: 1 – деревянная подставка; 2 – резиновый шланг для соединения к пневмометрической трубке; 3 – стеклянные трубки; 4 – подкрашенная вода; 5 – соединительный шланг

Для определения мощности и затрат электроэнергии на рабочей процесс использовался блок измерительных приборов К-500А, самопищущий ваттметр электрической мощности типа Н-377 и счетчика активной и реактивной энергии типа СА-34, СР-3У.

3.3 Планирование и обработка результатов многофакторного эксперимента

На рабочий процесс пневматического раздатчика гранулированных кормов оказывают влияние значительное число факторов и степень влияния этих факторов на процесс и друг на друга, недостаточно изучены. Решение многофакторных экспериментальных задач при неполном знании самого механизма явлений, возможно при использовании метода математического планирования эксперимента [66, 87].

Планирования и обработки результатов многофакторного эксперимента выполнялись в соответствии с условиями, описанными С.Г. Радченко: «Планы экспериментов должны соответствовать следующим условиям.

1. При заданном числе опытов N получать максимально возможное количество информации из факторного пространства R^k с ограничениями X_{imin} , X_{imax} – минимальное и максимальное значения i -го фактора; $1 \le i \le k$.

2. Главные эффекты x_i и взаимодействия факторов $x_i x_j$ должны быть ортогональны друг к другу либо слабо коррелированы (коэффициент парной корреляции $|r\ (xi,x_j)| < 0{,}4)$.

3. Число опытов должно быть ограниченным N =32…64.

4. План эксперимента должен быть устойчивым относительно используемых структур моделей и поиска экстремумов.

Анализ известных планов экспериментов показал, что такие планы отсутствуют. Наиболее близкие по критериям планы – многофакторные регулярные. Однако первое условие при их использовании не выполняется, так как число различных уровней s_i всегда меньше числа опытов N . Так, например,

если s_i = 2...4 и N = 16...32, то каждый уровень любого фактора повторяется несколько раз» [93, с.125].

Рабочий процесс пневматического раздатчика кормов было решено характеризовать показателями энергоемкости $У_1$ и равномерности распределения корма $У_2$ по фронту кормления:

$$Y_1 = Э = \frac{1000N_э}{Q \cdot L};\ \frac{\text{квт.ч}}{m \cdot \text{м}} \tag{3.9}$$

$$Y_2 = Y = \frac{\sigma_x \cdot 100}{m_x},\ \% \tag{3.10}$$

где N – потребная мощность электродвигателя на, необходимая для осуществления процесса раздачи корма, кВт; Q – производительность кормораздатчика, т/ч; L – длина фронта кормления, м; σ_x – среднеквадратичное отклонение распределения корма по фронту кормления, кг; m_x – математическое ожидание распределения корма по фронту кормления, кг.

Целью оптимизации рабочего процесса пневматического раздатчика является достижение наибольшей равномерности распределения корма по фронту кормления при наименьшей энергоемкости процесса.

Решение экспериментальной задачи разбивается на ряд последовательных этапов.

а) априорное ранжирование;

б) отсеивающие эксперименты;

в) движение в область оптимума;

г) описание области оптимума;

д) исследование области оптимума.

Для экспериментального исследования рабочего процесса пневматического кормораздатчика на основании предварительного изучения ранее проведенных исследований по пневматическому транспортированию материалов, опыта эксплуатации пневмотранспорта [1] и теоретических предпосылок были выделены 14 факторов, влияющих на процесс раздачи кормов (табл. 3.2).

Далее определились коэффициенты конкордации по формуле

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (3.11)$$

где S – сумма квадратов отклонений; m – число опрашиваемых специалистов; n – число факторов.

Таблица 3.2 - Основные факторы, влияющие на показатели энергоемкости рабочего процесса и равномерность распределения корма

Обозначение фактора	Наименование фактора	Ед.изм.	Уровень варьирования	
			нижний	верхний
X_1	Давление вентилятора, P	Па	1000	3000
X_2	Длина разгонного участка, ℓ	м	2	6
X_3	Объем накопительного бункера, $G_{нб}$	м^3	0,3	0,5
X_4	Расход, подаваемой подачи порции корма, q	кг/с	0,25	0,35
X_5	Масса порции подаваемого корма, $m_{пк}$	кг	0,2	0,5
X_6	Соотношение сечений кормораздатчика и разгонного участка, Z_p	-	1	2
X_7	Ширина фильтрующего элемента, b	%	80	160
X_8	Влажность корма, W	%	4,0	12,0
X_9	Коэффициент трения материала дна корможелоба, f	-	0,35	0,65
X_{10}	Соотношение площади сечений кормораздатчика и отсасывающего воздуховода, γ	-	-	2
X_{11}	Поперечный угол наклона кормораздатчика, a	град	0	30
X_{12}	Соотношение сечений корможелоба и кормораздатчика, Z	-	0,2	0,6
X_{13}	Длина кормораздатчика, L	м	10	20
X_{14}	Плотность фильтрующего элемента, β	слой	1	3

Матрица рангов (алгоритм для определения коэффициентов конкордации) и параметр оптимизации, в качестве которого принят энергоемкость рабочего процесса, представлены в табл. 3.3. Для параметра оптимизации энергоемкости рабочего процесса

$$L = \frac{\sum_{i=j}^{n}\sum_{j=i}^{m} a_{ji}}{n} = \frac{525}{14} \cong 38; S = \sum_{j=i}^{n} \Delta i^2 = 4459;\ m^2 = 25;\ n^3 - n = 2730;$$

$$W = \frac{125}{m^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 4459}{25 \cdot 2730} = 0{,}784;\ \chi^2 = 50{,}96.$$

Таблица 3.3 – Матрица рангов (алгоритм для определения коэффициентов конкордации) и параметр оптимизации -энергоемкость рабочего процесса

Опыт	Фактор													
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
Первый	1	9	10	4	3	11	8	6	2	12	13	5	7	14
Второй	1	14	5	7	4	10	11	6	3	9	12	2	8	13
Третий	1	12	6	4	5	10	11	7	3	14	13	2	8	9
Четвертый	2	13	14	1	5	10	12	11	3	8	6	4	7	9
Пятый	1	10	14	3	4	13	11	6	2	9	8	5	7	12
$\int_{j=1}^{m} \alpha_{ji}$	6	58	49	19	21	54	53	36	13	52	52	18	37	57
$\Delta i \int_{j=1}^{m} \alpha_{ji} - L$	-32	20	11	-19	-17	16	15	-2	-25	14	14	-20	-1	19
Δi^2	1024	400	121	361	289	256	225	4	625	196	196	400	1	361

Матрица рангов (алгоритм для определения коэффициентов конкордации) и параметр оптимизации, в качестве которого принят равномерность распределения корма, представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Параметр оптимизации – равномерность распределения корма

Опыт	Фактор													
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
Первый	1	10	14	6	2	11	9	8	5	13	7	3	4	12
Второй	1	12	13	4	3	11	10	9	5	2	8	6	7	14
Третий	1	12	14	4	3	9	10	13	6	5	7	2	8	11
Четвертый	2	13	9	1	4	12	10	11	6	8	7	3	5	14
Пятый	1	10	14	3	4	9	11	12	7	5	8	2	6	13
$\int_{j=1}^{m} \alpha_{ji}$	6	57	64	18	16	52	50	53	29	33	37	16	30	64
$\Delta i \int_{j=1}^{m} \alpha_{ji} - L$	-32	19	26	-20	-22	14	12	15	-9	-5	-1	-22	-8	26
Δi^2	1024	361	676	400	484	196	144	225	81	25	1	484	64	676

Для параметра оптимизации – равномерность распределения корма

$$L = \frac{\sum_{i=j}^{n} \sum_{j=i}^{m} a_{ji}}{n} = \frac{525}{14} \cong 38; S = \sum_{j=i}^{n} \Delta i^2 = 4841;\ m^2 = 25;\ n^3 - n = 2730;$$

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 4841}{25 \cdot 2730} = 0{,}8512; \quad x^2 = 55{,}328.$$

Сумма квадратов отклонений вычислялись по выражению:

$$S = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left(a_{ij} - l\right)^2, \tag{3.12}$$

где a_{ij}- ранг *i*– го фактора у *j*–го специалиста; *L* – среднее значение сумм рангов по каждому фактору.

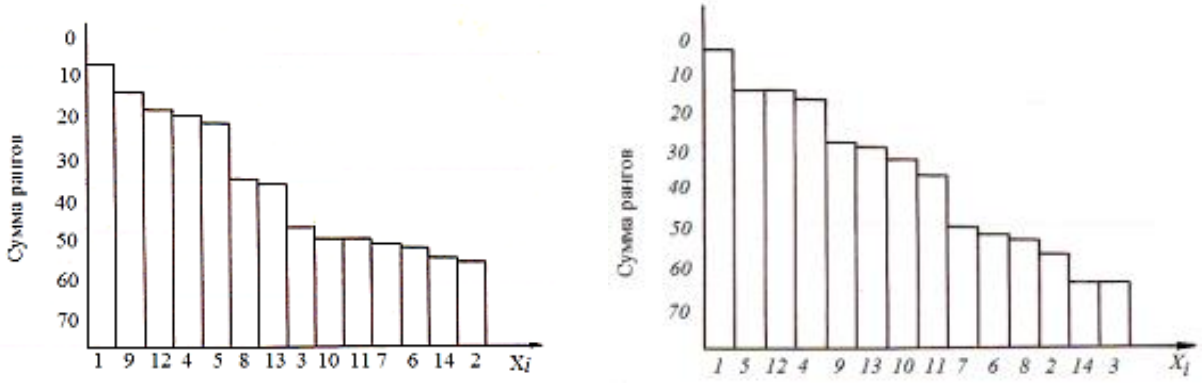
Значимость коэффициента конкордации проверяли по критерию Пирсона χ^2. Расчетное значение χ^2 распределение определяли из выражения

$$\chi^2 = m(n-1)W \frac{S}{1/12mn(n+1) - \frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{m} Ti}, \tag{3.13}$$

где T_i – коэффициент, зависящий от связанности рангов. При отсутствии связанности рангов у специалистов $T_i = 0$.

Поскольку табличные значение критерия Пирсона для 5%-ного уровня значимости при $f = 14 - 1 = 13$, $\chi^2 = 22{,}362$ меньше расчетного, то с 95%-ной вероятностью можно утверждать, что согласованность исследователей не является случайной, так как степень влияния факторов на энергоемкость процесса оценивается коэффициентном конкордации $W = 0{,}784$ и на равномерность распределения корма $W = 0{,}8512$.

По результатам эксперимента построены диаграммы рангов распределения факторов, влияющих на показатель энергоемкости (рис. 3.9, *а*) и на показатель равномерной раздачи кормов (рис. 3.9, *б*).



а *б*

Рисунок 3.9 – Диаграмма рангов факторов: *а* - влияющих на энергоемкость процесса; *б* - влияющих на равномерность распределения корма

Согласно диаграмме рангов, на основании априорного исследования, было отобрано 7 факторов, наиболее значимо влияющих на показатели энергоемкости (табл. 3.5) и 8 факторов – на показатель равномерности распределения корма (табл. 3.6). Далее проводились отсеивающие эксперименты, с целью определения основных факторов из выделенных.

Таблица 3.5 – Факторы, влияющие на показатель энергоемкости рабочего процесса

Обозначение фактора	Наименование фактора	Единица измерения	Уровень варьирования	
			нижний	верхний
X_1	Давление вентилятора, P	Па	1000	3000
X_9	Коэффициент трения материала о дне корможелоба, f	-	0,35	0,65
X_{12}	Соотношение площади сечений корможелоба и кормораздатчика, Z	-	0,2	0,6
X_4	Расход, подаваемой подачи порции корма, q	кг/с	0,16	0,22
X_5	Масса порции подаваемого корма, $m_{пк}$	кг	0,2	0,5
X_8	Влажность корма, W	%	4,0	12,0
X_{13}	Длина кормораздатчика, L	м	10	20

Таблица 3.6 – Факторы, влияющие на показатель равномерности распределения корма

Обозначение фактора	Наименование фактора	Единица измерения	Уровень варьирования	
			нижний	верхний
X_1	Давление вентилятора, P	Па	1000	3000
X_5	Масса порции подаваемого корма, $m_{пк}$	кг	0,2	0,5
X_{12}	Соотношение площади сечений корможелоба и кормораздатчика, Z	-	0,2	0,6
X_4	Расход, подаваемой подачи порции корма, q	кг/с	0,16	0,22
X_9	Коэффициент трения материала дна корможелоба, f	-	0,35	0,65
X_{13}	Длина кормораздатчика, L	м	10	20
X_{10}	Соотношение площади сечений кормораздатчика и отсасывающего воздуховода, γ	-	1	2
X_{11}	Поперечный угол наклона кормораздатчика, α	град	0	30

В целях экономии материальных ресурсов и громоздкости установки большой длины, было решено проводить отсевающие эксперименты на

лабораторной установке, которая ранее была изготовлена для определения зависимости объёмного веса гранул от скорости воздушного потока.

Объем ячеек шлюзового дозатора регулировался заполнением их деревянными брусками. Объем корможелоба и аэрожелоба регулируются передвижением фильтрующего элемента вверх или вниз по горизонтали.

При двухфакторном эксперименте выявлено, что отсеивающий эксперимент проводился с целью выявления малозначимых факторов, влияющих на процесс раздачи кормов для сокращения числа других факторов.

Результат отсеивающих экспериментов показал, что нужно продолжать эксперимент до получения оптимальных параметров кормораздатчика для раздачи гранулированных кормов.

Для проведения следующего этапа исследований будет изготовлен макет для проведения эксперимента, длиной 18 метров для 200 голов овец.

Все параметры экспериментального кормораздатчика, кроме длины фронта кормления, остались таким же, как на лабораторной установке стационарного пневматического кормораздатчика.

Длительность опыта – продолжительность цикла раздачи кормов, замерялась механическим секундомером.

Фактическое распределение корма по фронту кормления регистрировалось взвешиванием корма на каждом метре фронта кормления на механических весах типа С4-50А точностью измерения до 0,02 кг.

Опыты проводились в следующей последовательности. Гранулированные корма загружались в бункер-накопитель. После настройки всех факторов на определенный опыт закрывается днище и включается вентилятор – воздуходувная машина. Затем включается шлюзовой дозатор, и корм определенными порциями подается в воздушный поток разгонного участка. Кормовоздушная смесь устремляется в кормораздатчик, при этом, гранулы оседают в кормежелобе, постепенно заполняя его, а воздух проходя через отверстия перегородки отделяется от корма, поступает в аэрожелоб, откуда

посредством воздуховода отсасывается обратно во всасывающий патрубок вентилятора.

После заполнения корможелоба по всей длине, отключаются дозатор и вентилятор, открывается днище и корм высыпается в кормушку. В кормушке через каждый метр были установлены перегородки (поперечные) из листового картона для удобства отбора корма на метровом участке.

Производительность установки определялся по формуле

$$Q = \frac{m}{t}, \ \frac{\text{т}}{\text{ч}} \tag{3.14}$$

где m - масса розданного корма, т; t – время цикла, ч.

Полученные данные обрабатывались методами математической статистики.

Отсеивающие эксперименты проводились с целью выявления малозначащих факторов, влияющих на процесс раздачи кормов, для сокращения числа опытов.

В начальной стадии в процесс проверки уровней варьирования факторов выявилось, что на показатель энергоемкости и равномерности распределения корма наименьшее влияние имеет фактор X_9 – коэффициент трения материала дна корможелоба, когда используется тонколистовая сталь, то есть оптимальным материалом дна корможелоба является тонколистовая сталь. Установив тонколистовую сталь на дно кормораздатчика, фактор X_9 исключили из перечня влияющих факторов. Также было выявлено, что фактор X_{11} – поперечный угол наклона раздатчика на показатель равномерности распределения корма не влияет. В связи с чем, фактор X_{11} тоже был исключен из перечня влияющих факторов (табл. 3.7 и 3.8).

При проведении отсеивающих экспериментов на лабораторной установке была реализована матрица (табл. 3.9), построенная методом случайного баланса.

Таблица 3.7 – Факторы, влияющие на показатель энергоемкости рабочего процесса

Обозначение фактора	Наименование фактора	Единица измерения	Уровень варьирования	
			Нижний	Верхний
X_1	Давление вентилятора, P_1	Па	800	1800
X_{12}	Соотношение площади сечений корможелоба и кормораздатчика, Z	-	0,3	0,5
X_4	Производительность дозатора, V	кг/с	0,28	0,36
X_5	Масса порции подаваемого корма, $m_{пк}$	кг	0,16	0,22
X_9	Влажность корма, W	%	4,0	12,0
X_{13}	Длина кормораздатчика, L	м	2,0	4,0

Таблица 3.8 – Факторы влияющие на показатель равномерности распределения корма

Обозначение фактора	Наименование фактора	Единица измерения	Уровень варьирования	
			Нижний	Верхний
X_1	Давление вентилятора, P_1	Па	800	1800
X_{12}	Соотношение площади сечений корможелоба и кормораздатчика Z		0,3	0,5
X_5	Масса порции подаваемого корма, $m_{пк}$	кг	0,2	0,4
X_4	Производительность дозатора, V	кг/с	0,16	0,22
X_{13}	Длина кормораздатчика, L	м	2	4
X_{10}	Соотношение площади сечений кормораздатчика и отсасывающего воздуховода, γ	-	1	2

Перед построением матрицы порядок факторов рандомизировался, а выбранные уровни варьирования факторов кодировались по известной методике [64]. Столбцы $\overline{У}_1 = Э$, $\overline{У}_2 = V$ (табл. 3.9) являются реализациями матрицы отсеивающих экспериментов, столбцы $У_{11}$, $У_{12}$, $У_{12}$ – скорректированными результатами эксперимента, которые получены при обработке методом диаграмм рассеяния.

Таблица 3.9 – Матрица отсеивающего эксперимента

№	X_1	X_{12}	X_4	X_5	X_8	X_{13}	$X_1 X_4$	$\overline{У}_2 = Y$	$\overline{У}_1 =$ э	$\overline{У}_{11}$	$\overline{У}_{12}$
1	-	-	-	+	+	+	+	10,12	0,0362	0,0362	0,02803
2	+	-	+	+	-	+	+	4,61	0,0458	0,0458	0,03763
3	-	-	+	-	-	+	-	14,81	0,0286	0,0286	0,0286
4	+	-	-	-	+	-	-	8,96	0,0389	0,0389	0,0389
5	-	+	+	-	+	-	-	2,79	0,0668	0,04606	0,04606
6	+	+	-	-	-	-	+	2,33	0,0700	0,04926	0,04926
7	-	+	+	-	+	+	-	9,67	0,0461	0,02536	0,02536
8	+	-	-	+	+	-	-	9,46	0,0393	0,0393	0,0393
9	-	-	-	+	-	-	+	12,13	0,0359	0,0359	0,02773
10	+	+	-	-	+	+	-	2,11	0,0494	0,02866	0,02866
11	-	-	+	+	-	-	-	16,30	0,0291	0,0291	0,0291
12	+	-	+	+	+	-	+	6,19	0,0449	0,0449	0,03673

Влияние факторов на параметры оптимизации оценивались путем вычисления значений эффектов с последующей оценкой их по критерию Стьюдента (t – критерию).

Порядок выделения эффектов факторов их количественной оценки и проверки значимости с помощью критерия Стьюдента был общий для реализаций матрицы отсеивающих экспериментов по обоим параметрам оптимизации, поэтому ниже приведены лишь исследования энергоемкости рабочего процесса.

Для количественной оценки эффектов визуально выделенных факторов X_1 и X_{12} была составлена таблица с двумя входами (табл. 3.10).

Величина эффектов факторов определялось по форме

$$X_i = \frac{\overline{У}_1 + \overline{У}_3 + \overline{У}_5 + \ldots \overline{У}_n}{K_i} - \frac{\overline{У}_2 + \overline{У}_4 + \overline{У}_6 + \ldots \overline{У}_{n+1}}{K_i}, \qquad (3.15)$$

где $\overline{У}_1, \overline{У}_2, \overline{У}_3$ - средние значения критерия оптимизации в соответствующей клетке таблицы; K_i – число средних значений критерия оптимизации.

$$X_1 = \frac{\bar{y}_1+\bar{y}_3}{2} - \frac{\bar{y}_2+\bar{y}_4}{2} = 0{,}0065125;\ X_{12} = \frac{\bar{y}_1+\bar{y}_2}{2} - \frac{\bar{y}_3+\bar{y}_4}{2} = 0{,}02074.$$

Таблица 3.10 – Таблица с двумя входами для оценки влияния визуально выделенных факторов X_1 и X_{12}

Оцениваемые факторы	+ X_1	- X_1
+ X_{12}	0,0700 0,0494 $\sum y_1 = 0{,}1194$ $\bar{y}_1 = 0{,}0597$	0,0668 0,0461 $\sum y_2 = 0{,}1129$ $\bar{y}_2 = 0{,}05645$
- X_{12}	0,0458 0,0389 0,0393 0,0449 $\sum y_3 = 0{,}1689$ $\bar{y}_3 = 0{,}042225$	0,0362 0,0286 0,0359 0,0291 $\sum y_4 = 0{,}1298$ $\bar{y}_4 = 0{,}03245$

Значимость выделенных эффектов факторов проверяем с помощью *t*–критерия по формуле

$$t = \frac{(\bar{y}_1+\bar{y}_3+\ldots+\ldots\bar{y}_n)-(\bar{y}_2+\bar{y}_4+\ldots+\ldots\bar{y}_{n+1})}{\sqrt{\sum\frac{S_R^2}{n_i}}}, \qquad (3{,}16)$$

где S_R^2 - среднеквадратичная ошибка, характеризующая рассеяние относительно средних в клетках таблицы с несколькими входами

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i-1)}}, \qquad (3.17)$$

где n_i – число наблюдений в *i*-й клетке таблицы.

Результаты соответствующих расчетов приведены во вспомогательной таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Вспомогательная таблица для расчёта *t* - критерия

№ клеток	$\sum y_i$	$\left(\sum y_i\right)^2$	$\sum y_i^2$	число опытов n_i	S_R^2	$\frac{S_R^2}{n_i}$
1	0,1194	0,0142563	0,0073403	2	0,0002124	0,0001062
2	0,1129	0,0127464	0,0065874	2	0,0002142	0,0001071
3	0,1689	0,0285272	0,0071712	4	0,0000132	0,0000033
4	0,1298	0,016848	0,0042639	4	0,0000173	0,0000043

$$\sum \frac{S_R^2}{n_i} = 0.0002209$$

При оценке значимости факторов X_{12}, X_5, получили:

$$t_{X_1} = \frac{(\bar{y}_1+\bar{y}_3)-(\bar{y}_2+\bar{y}_4)}{\sqrt{\sum\frac{S_R^2}{n_i}}} = 0{,}87635; \quad t_{X_{12}} = \frac{(\bar{y}_1+\bar{y}_2)-(\bar{y}_3+\bar{y}_4)}{\sqrt{\sum\frac{S_R^2}{n_i}}} = 2{,}79054.$$

Табличные значение *t* – критерия для степеней свободы $f = \sum n_i - k$, где *K* – число клеток вспомогательной таблицы, $f = 12 - 4 = 8$ и 5 % - ного уровня значимости $t_{\text{таб}} = 2{,}306$.

Таким образом эффект X_{12} значим с 95% вероятностью, а эффект X_1- незначим.

В целях «сжатия» действие эффекта X_{12}, ко всем значениям параметра оптимизации, $\bar{y}_1$ относящимся к этому фактору на верхнем уровне (+) добавляем величину эффекта с обратным знаком – 0,02074. Скорректированные результаты занесены в столбце $\bar{y}_{11}$ табл. 3.9.

Для с корректирования результатов эксперимента выделили эффекты X_1 и X_5, как наиболее существенные. Качественную оценку этих эффектов проводили с помощью таблицы с двумя входами (табл. 3.12).

Численные значения эффектов составили

$$X_1 = 0{,}0092665; \quad X_5 = 0{,}0007265.$$

Таблица 3.12 – Таблица с двумя входами для вычисления эффектов факторов X_1 и X_5

Оцениваемые факторы	+ X_1	- X_1
+ X_5	0,0700 0,0494 $\sum У_1 = 0{,}1194$ $\overline{У}_1 = 0{,}0597$	0,0668 0,0461 $\sum У_2 = 0{,}1129$ $\overline{У}_2 = 0{,}05645$
- X_5	0,0458 0,0389 0,0393 0,0449 $\sum У_3 = 0{,}1689$ $\overline{У}_3 = 0{,}042225$	0,0362 0,0286 0,0359 0,0291 $\sum У_4 = 0{,}1298$ $\overline{У}_4 = 0{,}03245$

Для определения *t* – критерия была составлена вспомогательная табл. 3.13.

Таблица 3.13 – Таблица для расчета *t* - критерия

№ клеток	$\sum У_i$	$\left(\sum У_i\right)^2$	$\sum У_i^2$	n_i	S_R^2	$\frac{S_R^2}{n_i}$
1	0,1300	0,0169	0,005658	3	0,0000124	0,0000041
2	0,0912	0,0083174	0,002446	3	0,0001632	0,0000544
3	0,11682	0,0136469	0,004761	3	0,0001061	0,0000353
4	0,10002	0,010004	0,0035825	3	0,0001239	0,0000413

$$\sum \frac{S_R^2}{n_i} = 0{,}0001351$$

Расчетные значения *t* – критерия: $t_{X_1} 1{,}59448;\ \ t_{X_5} = 0.1295.$

Табличное значение *t*– критерия для числа степеней свободы $f = 8$ и 10% уровня значимости $t_{\text{табл}} = 1{,}860.$

Оба эффекта факторов X_1 и X_5 оказались незначимы. По диаграмме рассеяния визуально определили парное взаимодействие факторов X_1 и X_4. Определили эффекты X_{13} и $X_1 X_4$.

Качественную оценку эффектов X_1 и парного взаимодействия X_1 и X_4 проводили с помощью таблицы с двумя входами.

Расчетные значения эффектов равны

X_{13} = 0,006192; X_1 и X_4 = 0,00817.

Расчетные значения *t* – критерия равны

$t_{X_{13}} = -1{,}4605; \quad X_{X_1X_4} = 1{,}9266.$

Так как табличное значение t–критерия при $f = 8$ и 10% уровня значимости равно 1,860, то эффект парного взаимодействия факторов X_1 и X_4 значим с 90%- ной вероятностью, а эффект X_{13} незначим.

Затем проводили вторую корректировку результатов эксперимента (столбец $\overline{У}_{12}$, табл. 3.10). По результатам второй корректировки выделили эффект X_8 и X_{13} , а также с помощью таблицы с двумя входами.

Расчетные значения эффектов равнялись:

X_8 = - 0,0071483; X_{13} = - 0,000865

Расчетные значения *t* – критерия равнялись:

$t_{X_8} = 1{,}6654;\ t_{X_{13}} = 0{,}2015;$

Так как табличное значение t – критерия для 10% уровня значимости $t_{\text{табл}} = 1{,}860$, то эффекты X_8 и X_{13} незначимы.

Результаты качественной оценки эффектов связаны в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Результаты качественной оценки эффектов факторов, влияющих на энергоемкость рабочего процесса

Этап определения	Эффекты выделенные визуально	Численные значения эффектов	Расчетные значения t - критерия
По исходным данным	X_1	0,0065100	0,87635
	X_{12}	0,0207400	2,79054
После второй корректировки	X_1	0,0092665	1,59448
	X_{12}	0,0007265	0,1295
	X_{13}	0,0061920	-1,4605
	X_1X_4	0,0081700	1,9266
После второй корректировки	X_8	-0,0071500	-1,6654
	X_{13}	-0,0008650	-0,2015

Аналогичным образом были определены эффекты факторов и оценки значимости их по *t* – критерию и для реализации матрицы отсеивающих экспериментов при исследовании равномерности распределения корма по фронту кормления.

Таким образом, проведенные отсеивающие эксперименты и априорное ранжирование позволили выделить для дальнейшего изучения из четырнадцати факторов, влияющих на энергоемкость рабочего процесса и равномерность распределения корма, всего три наиболее значимых фактора: X_1- давление вентилятора, X_{11} – количество порции подаваемого корма или производительность шлюзового дозатора, X_{12} – соотношение площади сечений корможелоба и кормораздатчика.

Для проведения следующего этапа исследований был разработан экспериментальный пневматический раздатчик гранулированных кормов, для кормления 200 голов овец, длиной фронта кормления 18 метров (рис. 3.10). Все параметры экспериментального кормораздатчика, кроме длины фронта кормления, остались такими же, как на лабораторной установке стационарного пневматического кормораздатчика по образцу, представленного на рис. 3.5.

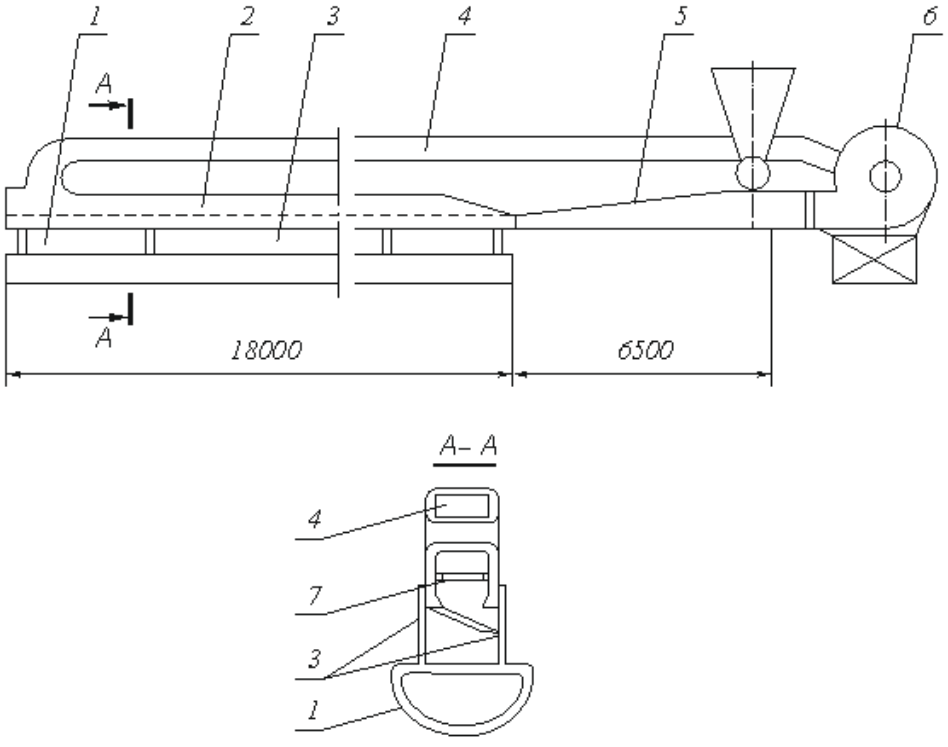


Рисунок 3.10 – Схема экспериментального стационарного пневматического раздатчика гранулированных кормов: 1 – кормушка; 2 – кормораздатчик; 3 – стойки; 4 – воздуховод для отсоса отработанного воздуха; 5 – разгонный участок; 6 – вентилятор; 7 – фильтрующий элемент

В связи с увеличением длины фронта кормления, на изготовленной установке, экспериментально был определен уровень варьирования фактора X_1 – давление вентилятора. Остальные факторы X_4 – производительность шлюзового дозатора и X_{12} – соотношение площади сечений корможелоба и кормораздатчика остались на прежних уровнях варьирования.

3.4 Оптимизация рабочего процесса пневматического раздатчика гранулированных кормов

После выделения наиболее значимых факторов (X_1, X_4, X_{12}) для приближения к области их оптимального сочетания и нахождения более благоприятных условий для последующих исследований был использован метод крутого восхождения по поверхности отклика в направлении градиента, то есть описание почти стационарной области уравнениями второго или третьего порядка, которые будут характеризовать кривизну поверхности [66].

Констатируя важность выбора критерия оптимизации и подбора факторов, влияющих на критерий оптимизации, автор пишет: «Прежде чем планировать и проводить эксперименты необходимо выбрать критерий оптимизации, т. е. параметр, по которому оценивается исследуемый объект который связывает факторы в математическую модель. Правильно выбранный критерий оптимизации дает исследователю четкое представление о цели работы. Задача исследователя состоит в том, чтобы созданием математической модели минимизировать или максимизировать критерий оптимизации путем соответствующего подбора факторов, действующих на изучаемый объект. В качестве критерия оптимизации могут быть выбраны экономический показатель, характеризующий машину или технологический процесс, выход продукта, энергозатраты и т.п. Необходимо стремиться к тому, чтобы критерий оптимизации был один, имел ясный физический смысл и контролировал оценку. Таким образом, лучше всего выбрать такой критерий, который являлся бы совокупной и исчерпывающей характеристикой объекта исследования. При составлении плана эксперимента прежде всего назначают (выбирают)

назависимые факторы исходя из априорной (доопытной) информации или предварительного изучения объекта исследования Факторами называются переменные величины, принимающие в некоторый момент времени определенное значение и соответствующие способам воздействия на объект. Они определяют как сам объект исследования, так и его состояние. Факторы могут быть контролируемыми и управляемыми, контролируемыми неуправляемыми и неконтролируемыми, или шумами. Каждый фактор может принимать в опыте одно или несколько значений, которые называются варьирования фактора. Факторы бывают количественные и качественные. Количественные можно измерить и выразить в числах, например относительная влажность воздуха в % его давление в Па и т.д. Качественные факторы не выражают именованными числами; к их числу можно отнести: тип исследуемой машины, способ посева, конструктивный элемент машины, цвет объекта и т.п. При качественных факторах их можно условно пронумеровать (закодировать)» [69, с.28].

Оптимизация рабочего процесса пневматического раздатчика гранулированных кормов осуществлялось на основе выбора следующих ключевых критериев оптимизации режимов работы кормораздатчика:

– минимум удельной энергоемкости процесса раздачи гранулированных кормов овцам, $E_{уд} \rightarrow min;$

– максимум производительности шлюзового дозатора, $Q_{шд} \rightarrow max;$

– минимум неравномерности распределения гранулированных кормов по длине фронта кормления или минимум коэффициента вариации неравномерности распределения кормов, $v_m \rightarrow min;$

– минимум крошимости гранул при заданной влажности W, равной 4 … 12%, $K \rightarrow min$ [44].

Оптимальные режимы работы пневматического раздатчика гранулированных кормов определяются компромиссом между высокой производительностью шлюзового дозатора и приемлемым уровнем энергозатрат.

Для отыскания оптимальных сочетаний выделенных факторов, дающих минимальные величины показателей энергоемкости рабочего процесса и равномерности распределения корма по фронту кормления, был проведен эксперимент, включающий 8 опытов при изменении факторов на 2^x уровнях, далее по программе крутого восхождения - еще 4 опыта по поверхности отклика.

Эксперимент проводился с трехкратной повторностью на экспериментальной стационарной установке пневматического кормораздатчика (рис. 3.5) гранулированными кормами, предназначенными для кормления овец.

По результатам эксперимента построена матрица планирования и программа крутого восхождения по поверхности отклика (табл. 3.15).

По результатам эксперимента были определены коэффициенты регрессии по формулам

$$в_о = \frac{\sum_{u=1}^{N} \overline{у}_u}{N}\ ;\ в_i = \frac{\sum_{u=1}^{N} X_{iu} у_u}{N}\ ;\ в_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^{N} X_{iu} X_{ju} \overline{у}}{N}\ ,$$

где $в_о, в_i$ −коэффициенты регрессии при выделенных линейных членах; $\overline{У}_u$ − значение критерия оптимизации, полученного в u-м опыте; N − количество опытов;X_{iu} −значение фактора X_i в u-ом опыте.

Численные значения коэффициентов регрессии равны:

- для показателя энергоемкости рабочего процесса:

$в_о = 0{,}054675; в_{1-2} = -0{,}001525;$

$в_1 = 0{,}00508; в_{1-3} = -0{,}00017;$

$в_2 = -0{,}00916; в_{2-3} = -0{,}005405;$

$в_3 = 0{,}01288.$

- для показателя равномерности распределения корма по фронту кормления

$в_о = 7{,}2438; в_{1-2} = -0{,}9963;$

$в_1 = 2{,}5513; в_{1-3} = -0{,}5238;$

$в_2 = 1{,}5538; в_{2-3} = -0{,}1463;$

$в_3 = 3{,}1113.$

Таблица 3.15 – Матрица планирования и программа крутого восхождения по поверхности отклика

Обозначения		Давление вентилятора P (Па)	Производительность дозатора V (кг/с)	Соотношение сечений корможелоба и кормораздатчика, z	Критерий оптимизации	
					удельный расход электроэнергии (кВт, ч/т)	Равномерность раздачи корма (%)
		X_1	X_4	X_{12}	$\overline{y}_1$	$\overline{y}_2$
верхний уровень	+1	2500	0,36	0,5		
основной уровень	0	1912	0,32	0,4		
нижний уровень	-1	1324	0,28	0,3		
опыты: 1		+	+	+	0,05491	1,77
2		+	+	-	0,04323	8,73
3		+	-	-	0,05086	5,83
4		+	-	+	0,09002	2,44
5		-	-	-	0,04024	11,48
6		-	-	+	0,07422	3,01
7		-	+	+	0,05107	9,31
8		-	+	-	0,03285	15,38
коэфф. регрессии $в_i$: для модели энергоемкости		0,09143	-0,1649	0,23185		
для модели равномерности		-2,5513	1,5538	-3,1113		
интервал варьирования факторов		588	0,04	2,5		
шаг опыта						
опыты по программе крутого восхождения		1912	0,32	0,3	0,0289	11,03
9						
10		1324	0,32	0,3	0,0284	12,10
11		1324	0,36	0,4	0,0228	4,31
12		1324	0,40	0,4	0,0218	14,03

Уравнение регрессии энергоемкости рабочего процесса имеет вид

$$\widehat{y}_1 = 0{,}054675 + 0{,}00508 \quad X_1 - 0{,}00916 \quad X_4 + 0{,}01288 \quad X_{12} - 0{,}525 \quad X_1X_4 - 0{,}00017 \quad X_1X_{12} - 0{,}005405 \quad X_4X_{12}.$$

Уравнение регрессии равномерности раздачи корма по фронту кормления

$$\widehat{У}_2 = 7{,}2438 - 2{,}5513\ X_1 + 1{,}5538\ X_4 - 3{,}1113\ X_{12} - 0{,}9963\ X_1X_4 + 0{,}5238\ X_1X_{12} - 0{,}1463\ X_4X_{12}.$$

Гипотезу об адекватности коэффициентов регрессии определенных по результатам опытов проверяли по критерию Фишера и сравнением с его табличным значением

$$F = \frac{S_{LF}^2}{S_{\text{у}}^2}, \tag{3.18}$$

где S_{LF}^2 −дисперсия неадекватности математической модели; $S_{\text{у}}^2$ −дисперсия ошибки опыта.

Дисперсию неадекватности вычисляли по формуле

$$S_{LF}^2 = \frac{m\ \sum_{u=1}^{N}(\widehat{У} - \overline{У}_u)^2}{N - (k+1)}, \tag{3.19}$$

где $\overline{У}_u$ − среднее значение критерия оптимизации в u-м опыте при $m-$ повторностьях; $k-$ число факторов, $n = 0{,}1{,}2\ldots;$ $m-$ число повторностей одного опыта; $\widehat{У}-$ значение критерия оптимизации, вычисленное по уравнению регрессии.

Дисперсию, характеризующую ошибку опыта определяли по формуле

$$S_{\text{у}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N}\sum_{i=1}^{N}(У_{iu} - \overline{У}_u)^2}{N-(m+1)}, \tag{3.20}$$

где $У_{iu}$ −значение критерия оптимизации в параллельных опытах.

Для удобства все вычисления по оценке адекватности данных, результаты эксперимента сведены в таблицу – алгоритм (табл. 3.16 и 3.17).

Для уравнения регрессии энергоемкости рабочего процесса: $S_{LF}^2 = 0{,}0000126;\ \ S_{\text{у}}^2 = 0{,}0000126.$ Значение критерия Фишера: $F = 1{,}7500;$

Табличное значение F критерия с 95 % вероятностью для степеней свободы числителя $f_1 = N - k - 1 = 4$ и с числом степеней свободы знаменателя $f_2 = N(k-1) = 16$, $F_{\text{табл}} = 3{,}0.$

Табличное значение F критерия превышает величину опытного значения этого критерия, поэтому можно было бы принять гипотезу об адекватности модели.

Таблица 3.17– Алгоритм для определения адекватности модели энергоемкости рабочего процесса.

№ опыта	$У_{1u}$	$У_{2u}$	$У_{3u}$	$\overline{У}_u$	$(У_{1u}-\overline{У}_u)^2$	$(У_{2u}-\overline{У}_u)^2$	$(У_{3u}-\overline{У}_u)^2$	$\Sigma(У_{iu}-\overline{У}_u)^2$	$\widehat{У}_1-\overline{У}_u$	$(\widehat{У}_1-\overline{У}_u)^2$
1	0,05452	0,05629	0,05392	0,05491	0,0000001	0,0000019	0,0000009	0,0000029	0,001465	0,0000021
2	0,04455	0,04396	0,04118	0,04323	0,0000017	0,0000005	0,0000042	0,0000064	0,001465	0,0000021
3	0,05234	0,04829	0,05195	0,05086	0,0000021	0,0000066	0,0000011	0,0000099	0,001465	0,0000021
4	0,08796	0,08894	0,09316	0,09002	0,0000042	0,0000011	0,0000098	0,0000151	0,001465	0,0000021
5	0,03898	0,04171	0,04003	0,04024	0,0000015	0,0000021	0,0000001	0,0000037	0,001465	0,0000021
6	0,07715	0,07738	0,06813	0,07422	0,0000085	0,0000099	0,000037	0,0000554	0,001465	0,0000021
7	0,04994	0,04851	0,05476	0,05107	0,0000012	0,0000065	0,0000136	0,0000213	0,001465	0,0000021
8	0,03397	0,03226	0,03232	0,03285	0,0000012	0,0000003	0,0000002	0,0000017	0,001465	0,0000021

$$\sum_{i=1}^{k}\sum_{u=1}^{N}(У_{iu}-\overline{У}_u)^2 = 0{,}0001164\ ;\ \sum_{u=1}^{N}(\widehat{У}_1-\overline{У}_u)^2 = 0{,}0000168.$$

Таблица 3.18 – Алгоритм для определения адекватности модели равномерности раздачи корма

№ опыта	$У_{1u}$	$У_{2u}$	$У_{3u}$	$\overline{У}_u$	$(У_{1u}-\overline{У}_u)^2$	$(У_{2u}-\overline{У}_u)^2$	$(У_{3u}-\overline{У}_u)^2$	$\Sigma(У_{iu}-\overline{У}_u)^2$	$\widehat{У}_1-\overline{У}_u$	$(\widehat{У}_1-\overline{У}_u)^2$
1	1,82	1,80	1,69	1,77	0,0025	0,0009	0,0064	0,0064	0,7462	0,5568
2	8,97	8,24	8,98	8,73	0,0576	0,2401	0,0625	0,3602	0,7462	0,5568
3	5,36	5,68	6,45	5,83	0,2209	0,0225	0,3844	0,6278	0,7462	0,5568
4	2,39	2,47	2,46	2,44	0,0025	0,0009	0,0004	0,0038	0,7462	0,5568
5	12,12	11,54	10,78	11,48	0,4096	0,0036	0,4900	0,9032	0,7462	0,5568
6	3,01	3,22	2,80	3,01	0	0,0441	0,0441	0,0882	0,7462	0,5568
7	10,08	8,49	9,36	9,31	0,5929	0,6724	0,0025	1,2678	0,7462	0,5568
8	14,81	15,35	15,98	15,38	0,3249	0,0009	0,3600	0,6858	0,7466	0,5574

$$\sum_{i=1}^{k}\sum_{u=1}^{N}(У_{iu}-\overline{У}_u)^2 = 3{,}9432;\ \sum_{u=1}^{N}(\widehat{У}_1-\overline{У}_u)^2 = 4{,}455.$$

Для уравнения регрессии равномерности распределения корма по фронту кормления

$$S_{LF}^2 = 2{,}9574,\ S_{\text{у}}^2 = 0{,}2465 \text{ и } F = 12{,}0\ .$$

Табличное значение критерия Фишера – $F_{\text{табл}} = 3{,}0$.

В связи с тем, что $F_{\text{табл}} = 3 < F = 12{,}0,$ адекватность линейной модели нельзя считать верной.

Для определения значимости коэффициентов регрессии определяли доверительный интервал

$$\pm\Delta в_i = в_i - \beta_i = \pm t S_{в_i},$$

где $S_{в_i}$ −квадратичная ошибка коэффициента регрессии; t −табличное значение t −критерия, при числе степеней свободы $f = (k-1) = 16$, $t = 2{,}12$; $S_{в_i} = \sqrt{\frac{S_{\text{у}}^2}{N}}$.

Для модели энергоемкости рабочего процесса

$S_{в_i} = 0{,}0009486;\ \Delta_{в_i} = 0{,}002011.$

Для модели равномерности распределения корма

$S_{в_i} = 0{,}175535;\ \Delta_{в_i} = 0{,}372134.$

Считается, что для линейной модели $\Delta_{в_i} = \Delta_{в_{ij}}$.

Так как коэффициенты регрессии $в_{ij}$ больше доверительного интервала $\Delta в_{ij}$, то модель энергоемкости и модель равномерности распределения корма являются нелинейными.

В целях проверки адекватности модели энергоемкости процесса по нуль гипотез были поставлены несколько опытов в центре эксперимента, где среднее значение параметра оптимизации равнялся: $\overline{\text{У}}_0 = 0{,}03707.$

В связи с тем, что разность $в_0 - \overline{\text{У}}_0 = 0{,}054675 - 0{,}03707 = 0{,}017605 \gg \Delta_{в_i} = 0{,}002011,$ то коэффициенты регрессии при квадратичных членах не равняются нулю и исследуемая зависимость не является линейной.

Важным моментом в планировании эксперимента считается окончательная спецификация модели, по поводу которой С.Н. Лапач, С.Г.

Радченко пишут: «Формируется в процессе построения модели посредством алгоритмов выбора наилучшего подмножества регрессоров.

Проблемы.

• Разные алгоритмы дают разные структуры модели.

• Разные алгоритмы, по сути, имеют разные цели (разные показатели качества модели).

• Алгоритмы, как правило, неустойчивы при неортогональных матрицах, по которым выполняется поиск структуры модели.

• Даже для полного факторного эксперимента (полная ортогональность эффектов) существуют конфликты между отдельными элементами алгоритмов.

Существует множество алгоритмов формирования “наилучшего уравнения регрессии”. Недостатком их есть то, что они дают различные «наилучшие уравнения». Особенно для неортогональных матриц эффектов. Кроме того, вопрос, что считать «наилучшим уравнением», также не разрешен. Конфликт существует даже для оптимальных матриц эксперимента. Например, для полного факторного эксперимента нередки ситуации, когда имеются статистически значимые коэффициенты регрессии, которые следует включить в модель, но их не следует включать, так как модель уже адекватна по критерию Фишера. Или же, для того чтобы модель была адекватной и информативной, в нее необходимо включать статистически незначимые коэффициенты» [57, с. 128-129].

На основании изложенного пришли к заключению, что для описания результатов эксперимента линейные модели не могут быть приняты. Поэтому было принято решение использовать планирование второго порядка, позволяющее получить представление о функциях отклика с помощью полинома второй степени.

Несмотря на неадекватность линейной модели, проводилось крутое восхождение по поверхности отклика с учетом значений коэффициентов регрессии, предполагая, что при удачном движении можно установить оптимальные значения факторов.

В целях снижения неравномерности распределения корма производительность дозатора была снижена до основного уровня, а давление вентилятора увеличена до 2000 Па. При этом снизились показатели энергоемкости и равномерности распределения корма. Следующий шаг, при снижении давления вентилятора, показал, что энергоемкость снизилась, но неравномерность распределения корма увеличилась. Увеличение объема корможелоба Ƶ до среднего уровня и увеличение производительности дозатора дало возможность снизить энергоемкость и довести значение равномерности распределения корма до 4,9%. При повторном увеличении производительности дозатора резко повысился показатель неравномерности распределения корма.

В связи с тем, что наилучшие результаты опыта определены в пределах интервала варьирования факторов $(X_1 = min,\ X_4 = max,\ X_{12} = 0)$, ранее выбранный центр эксперимента был оставлен без изменения для проведения следующих этапов эксперимента.

Оценка качества полученной модели проводилась по рекомндациям С.Н. Лапач, С.Г. Радченко, которые пишут: «В большинстве случаев вопрос о показателях качества модели, их согласованности и соответствии цели моделирования даже не ставится.

Проблемы.

• Показатели качества модели не согласовывают с прикладной целью исследования.

• Не существует общепринятого набора показателей качества.

• Между отдельными показателями качества в большинстве случаев существуют противоречия.

• Разным показателям качества соответствует своя лучшая модель.

Статистические показатели, которые оценивают качество модели (значимость коэффициентов, информативность, адекватность, устойчивость), обычно используются по отдельности, между собой не согласованы. Например, модель может быть неадекватной, но информативной. Или информативной и адекватной может быть модель, состоящая из статистически незначимых

коэффициентов. Адекватная и информативная модель может быть неустойчивой и прочее» [57, с.129].

3.5 Описание и исследование области оптимума

Для получения математической модели второго порядка и описания области оптимума нами был выбран трехуровневый план Бокса – Бенкина.

Анисимов П.Н. в своих работах отмечая преимущества и необходимые условиях для проведения эксперимента в соответствие с трехуровневого плана Бокса – Бенкина пишет: «В статистике планы Бокса-Бенкена являются эспериментальными для методологии поверхностного отклика, планы разработали в 1960 году Джордж Бокс и Дональд Бенкен.

Методика планирования эксперимента в целом используется для уменьшения числа проведенных экспериментов. Например, при проведении эксперимента с 4 факторами и 3 уровнями варьирования факторов необходимо провести 81 опыт, а если использовать планы Бокса-Бенкена, то необходимо провести 27 опытов. Выходит, что выигрыш в числе проведенных опытов в 3 раза, а это является существенным выигрышем по времени.

Планы Бокса-Бенкена подходят только для условия трехуровневого варьирования факторов.

Планирование эксперимента в соответствие с планами Бокса-Бенкена:

1. Необходимо выбрать уровни варьирования факторов;

2. Закодировать значения факторов в удобные для дальнейших расчетов значения -1,0, +1;

3. Использовать матрицу планирования;

4. Провести дополнительные расчеты для уравнения регрессии в закодированных переменных;

5. Рассчитать коэффициенты регрессии;

6. Провести статистический анализ полученной модели.

Уровни варьирования факторов составляются следующим образом: выбирается центральное значение и от него на равных интервалах

варьирования выбираются значения в положительную и в отрицательную сторону. Например, нам необходимо провести расчеты на центральной частоте 27 кГц, а интервал варьирования составляет 2 кГц, тогда получим значения 25 и 29 кГц соответственно» [1, с.32].

В ходе эксперимента была реализована матрица этого плана, состоящая из 15 опытов (табл. 3.19).

Таблица 3.19 – Матрица планирования эксперимента (план Бокса – Бенкина)

Обозначения		Давление вентилятора, P($па$)	Производительность дозатора Q (кг/сек)	Соотношение сечений корможелоба и корморазда-тчика Z	Критерий оптимизации	
					удельный расход электро-энергии Э, (кВт. ч/т)	равномерность раздачи корма V, (%)
		X_1	X_4	X_{12}	$У_1$	$У_2$
верхний уровень	+1	2500	0,36	0,5		
основной уровень	0	1912	0,32	0,4		
нижний уровень	-1	1324	0,28	0,3		
опыты:		0	0	0	0,03784	1,97
1						
2		0	0	0	0,03616	1,89
3		0	0	0	0,03722	1,96
4		0	+	+	0,03842	2,68
5		0	-	-	0,03737	7,42
6		+	+	0	0,03364	3,03
7		+	0	+	0,06827	2,70
8		-	-	0	0,04224	3,26
9		-	0	-	0,02840	12,10
10		+	-	0	0,05954	1,25
11		+	0	-	0,02965	10,78
12		-	+	0	0,02238	4,01
13		-	0	+	0,03677	5,83
14		0	+	-	0,01852	12,35
15		0	-	+	0,06386	2,73
интервал варьирования, ε		588	0,04	0,1		

Коэффициенты регрессии определялись по формулам

$$в_0 = \overline{У}_0; в_i = A\{iy\}; \quad в_{ij} = Д_1\{ijy\}; \; в_{ii} = В\{iiy\} + C_1 \sum_i^{n_1}\{jjy\} - \left(\frac{\overline{У}_o}{\rho}\right),$$

где $\overline{У}_o -$ среднее значение отклика в нулевых точках; $А, В, C_1, Д_1 -$ числовые константы, значения которых приведены в [64]

$$\{iy\} = \sum_{u=1}^{N} X_{iu}\overline{У}_u; \qquad \{ijy\} = \sum_{u=1}^{N} X_{iu}X_{ju}\overline{У}_u; \qquad \{iiy\} = \sum_{u=1}^{N} X_{iu}^2\overline{У}_u.$$

- для показателя энергоемкости рабочего процесса

$в_0 = 0{,}03707; в_1 = 0{,}00766; в_2 = -0{,}01126; в_3 = 0{,}01167;$

$в_{11} = 0{,}00180; в_{22} = 0{,}00057; в_{33} = 0{,}00189.$

$в_{12} = 0{,}01511; в_{13} = 0{,}007567; в_{23} = -1{,}245.$

- для показателя равномерности распределения корма:

$в_0 = 1{,}94; \; в_1 = -0{,}93; в_2 = 0{,}9263; в_3 = -3{,}5888;$

$в_{11} = 1{,}2525; в_{22} = -0{,}305; в_{33} = 4{,}66.$

$в_{12} = 0{,}2575; в_{13} = -0{,}4525; в_{23} = -1{,}245;$

Уравнение регрессии энергоемкости рабочего процесса по результатам эксперимента

$$\widehat{У}_1 = 0{,}03707 + 0{,}00766X_1 - 0{,}01126\,X_4 + 0{,}01167\,X_{12} - 0{,}01511X_1X_4 + 0{,}007567X_1X_{12} - 0{,}00165X_4X_{12} + 0{,}00180X_1^2 + 0{,}00057X_4^2 + 0{,}00189X_{12}^2; \quad (3.21)$$

Уравнение регрессии равномерности раздачи корма

$$\widehat{У}_2 = 1{,}94 - 0{,}93X_1 + 0{,}9263X_4 - 3{,}5888X_{12} + 0{,}2575X_1X_4 - 0{,}4525X_1X_{12} - 1{,}245\,X_4X_{12} + 1{,}2525X_1^2 - 0{,}305X_4^2 + 4{,}66X_{12}^2. \quad (3.22)$$

Гипотезу об адекватности модели второго порядка проверяли определением значения критерия Фишера и сравнением с его табличным значением.

$F -$ критерий Фишера определялся по формуле

$$F = \frac{SS_{LF}}{f_{LF}} : \frac{SS_y}{f_y},$$

где $SS_{LF} -$ сумма квадратов, определяющая неадекватность результатов эксперимента; $SS_y -$сумма квадратов, характеризующая ошибку опытов; f_{LF} и $f_y -$ число степеней свободы, соответствующее сумме SS_{LF} и SS_y.

Сумма квадратов и число степеней свободы определялись по выражениям

$$SS_{LF} = m\sum_{u=1}^{N}(\,(\widehat{\text{У}} - \overline{\text{У}}_u)^2; SS_y = \sum_{i=1}^{m}\sum_{u=1}^{N}(\text{У}_{iu} - \overline{\text{У}}_u)^2;$$

$$f_{LF} = N - k - 1; f_{\text{У}} = N(m-1).$$

Для уравнения энергоемкости рабочего процесса

$SS_{LF} = 0{,}0000102; \quad SS_y = 0{,}0000246; f_{LF} = 11; \quad f_{\text{У}} = 30.$

$$F = \frac{0{,}0000102}{11} : \frac{0{,}0000246}{30} = 1{,}1301.$$

Табличное значение критерия Фишера при 5% -ном уровне значимости $F_{\text{табл}} = 2{,}1.$

Так как экспериментальное значение критерия Фишера $F = 1{,}2114 < F_{\text{табл}} = 2{,}1$, гипотеза об адекватности модели энергоемкости рабочего процесса, описанная уравнением (4) по результатам эксперимента была принята верной с 95% - ной вероятностью.

Для уравнения равномерности раздачи корма

$SS_{LF} = 2{,}8824; \; SS_y = 4{,}9364;$

$f_{LF} = 11; \; f_{\text{У}} = 30;$

$$F = \frac{2{,}8824}{11} : \frac{4{,}9364}{30} = 1{,}5925.$$

Так как $F_{\text{табл}} = 2{,}1 > F = 1{,}5925$, гипотеза об адекватности математической модели равномерности раздачи корма, описанная уравнением (5) по результатам эксперимента, также была принята верной с 95%-ной вероятностью.

Для удобства все вычисления по оценке адекватности моделей второго порядка была сведены в таблицу – алгоритм (таблицы 3.20 и 3.21).

Таблица 3.20 – Алгоритм для определения адекватности уравнения энергоемкости процесса

№ опыта	$У_{1u}$	$У_{2u}$	$У_{3u}$	$\overline{У}_u$	$(У_{1u}-\overline{У}_u)^2$	$(У_{2u}-\overline{У}_u)^2$	$(У_{3u}-\overline{У}_u)^2$	$\sum_{i=1}^{m}(У_{iu}-\overline{У}_u)^2$	$\widehat{У}_1$	$\widehat{У}_1-\overline{У}_u$	$(\widehat{У}_1-\overline{У}_u)^2$
1	0,03877	0,03791	0,03684	0,03784	0,0000008	0	0,000001	0,0000018	0,03707	0,00077-	0,0000005
2	0,03617	0,03573	0,03658	0,03616	0	0,0000001	0,0000001	0,0000002	0,03707	0,00091	0,0000008
3	0,03783	0,03635	0,03748	0,03722	0,0000003	0,0000007	0	0,000001	0,03707	0,00015-	0
4	0,03790	0,03801	0,03935	0,03842	0,0000002	0,0000001	0,0000008	0,0000011	0,03829	0,00013-	0
5	0,03617	0,03776	0,03818	0,03737	0,0000014	0,0000001	0,0000006	0,0000021	0,03747	0,0001	0
6	0,03279	0,03444	0,03369	0,03364	0,0000007	0,0000006	0	0,0000013	0,03433	0,00069	0,0000004
7	0,06709	0,06836	0,06936	0,06827	0,0000013	0	0,0000011	0,0000024	0,06766	0,00061-	0,0000003
8	0,04283	0,04194	0,04195	0,04224	0,0000003	0	0	0,0000003	0,04153	0,00071-	0,0000005
9	0,02782	0,02859	0,02879	0,02840	0,0000003	0	0,0000001	0,0000004	0,028997	0,000597	0,0000003
10	0,06068	0,06006	0,05788	0,05954	0,0000012	0,0000002	0,0000027	0,0000041	0,05987	0,00033	0,0000001
11	0,02927	0,02991	0,02977	0,02965	0,0000001	0	0	0,0000001	0,02918	0,00047-	0,0000002
12	0,02191	0,02287	0,02236	0,02238	0,0000002	0,0000002	0	0,0000004	0,02203	0,00035-	0,0000001
13	0,03637	0,03621	0,03773	0,03677	0,0000002	0,0000003	0,0000009	0,0000014	0,03679	0,00002	0
14	0,01908	0,01883	0,01765	0,01852	0,0000003	0,0000001	0,0000007	0,0000001	0,01825	0,00027-	0,0000001
15	0,06277	0,06276	0,06605	0,06386	0,0000011	0,0000012	0,0000047	0,000007	0,06411	0,00025	0,0000001

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{u=1}^{N}(У_{iu}-\overline{У}_u)^2 = 0{,}0000246;\ \sum_{u=1}^{N}(\widehat{У}_1-\overline{У}_u)^2 = 0{,}0000034$$

Таблица 3.21 – Алгоритм для определения адекватности уравнения равномерности раздачи корма

№ опыта	$У_{1u}$	$У_{2u}$	$У_{3u}$	$\overline{У}_u$	$(У_{1u}-\overline{У}_u)^2$	$(У_{2u}-\overline{У}_u)^2$	$(У_{3u}-\overline{У}_u)^2$	$\sum_{i=1}^{m}(У_{iu}-\overline{У}_u)^2$	$\widehat{У}_2$	$(\widehat{У}_2-\overline{У}_u)$	$(\widehat{У}_2-\overline{У}_u)^2$
1	1,88	2,03	2,00	1,97	0,0081	0,0036	0,0009	0,01260	1,94	0,0300	0,0009
2	1,98	1,81	1,88	1,89	0,0081	0,0064	0,0001	0,01460	1,94	0,0500	0,0025
3	2,14	1,88	1,86	1,96	0,0324	0,0064	0,0100	0,0488	1,94	0,0200	0,0004
4	2,53	2,86	2,65	2,68	0,0225	0,0324	0,0009	0,0558	2,3875	0,2925	0,0856
5	6,96	7,20	8,1	7,42	0,2116	0,0484	0,4624	0,7224	7,7125	0,2925	0,0856
6	2,91	2,95	3,23	3,03	0,0144	0,0064	0,0400	0,0608	3,1413	0,1113	0,0124
7	2,65	2,55	2,9	2,70	0,0025	0,0225	0,0400	0,0650	2,8812	0,1812	0,0328
8	3,09	3,32	3,37	3,26	0,0289	0,0036	0,0121	0,0446	3,1487	0,1113	0,0124
9	11,35	12,16	12,79	12,10	0,5625	0,0036	0,4761	1,0422	11,9188	0,1812	0,0328
10	1,29	1,28	1,18	1,25	0,0016	0,0009	0,0049	0,0074	0,7737	0,4763	0,2269
11	11,42	10,98	9,94	10,78	0,4096	0,0400	0,7056	1,1552	10,9638	0,1838	0,0338
12	4,17	3,89	3,97	4,01	0,0256	0,0144	0,0016	0,0416	4,4863	0,4763	0,2269
13	5,36	6,10	6,03	5,83	0,2209	0,0729	0,0400	0,3338	5,6462	0,1838	0,0338
14	13,10	12,45	11,5	12,35	0,5625	0,0100	0,7225	1,2950	12,055	0,2949	0,087
15	2,60	2,72	2,87	2,73	0,0169	0,0001	0,0196	0,0366	3,0249	0,2949	0,087

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{u=1}^{N}(У_{iu}-\overline{У}_u)^2 = 4{,}9364\,;\ \sum_{u=1}^{N}(\widehat{У}_1-\overline{У}_u)^2 = 0{,}9608$$

Доверительный интервал коэффициентов регрессии определили по выражению

$$\pm\Delta в_i = \pm t S_в,$$

где $S_в$ −квадратная ошибка коэффициента регрессии; t −табличное значение t −критерия.

$$S^2\{в_0\} = \frac{1}{П_0} S_y^2;\ S^2\{в_i\} = A S_y^2;$$

$$S^2\{в_{ii}\} = \left[B + \frac{1}{S^2 П_0}\right] S_y^2;\quad S^2\{в_{ij}\} = Д_1 S_y^2,$$

где $П_0$ −число нулевых точек в матрице план.

Доверительный интервал коэффициентов регрессии для уравнения энергоемкости рабочего процесса

$S^2\{в_0\} = 0{,}0000003;\ S_y^2 = 0{,}0000008;$

$S^2\{в_i\} = 0{,}0000001;\ S^2\{в_{ii}\} = 0{,}0000959;\ S^2\{в_{ij}\} = 0{,}0000002;$

При числе степеней свободы $f = N(m-1) = 30$ табличное значение t −критерия $t_{табл} = 2{,}042$, а величины доверительного интервала $\Delta в_0 = 0{,}0000006;\ \Delta в_i = 0{,}0000002;\ \Delta в_{ii} = 0{,}0000006;\ \Delta в_{ij} = 0{,}0000004.$

Из показателей величин доверительного интервала $\Delta в$ видно, что все коэффициенты регрессии уравнения энергоемкости рабочего процесса являются значимыми.

Доверительный интервал коэффициентов регрессии для уравнения равномерности раздачи корма

$S_y^2 = 0{,}1645;\ S^2\{в_0\} = 0{,}0548;\ S^2\{в_i\} = 0{,}02056;\ S^2\{в_{ii}\} = 0{,}0548;$

$S^2\{в_{ij}\} = 0{,}04113;$

$t_{табл} = 2{,}042;$

$\Delta в_0 = 0{,}478;\ \Delta в_i = 0{,}2928;\ \Delta в_{ii} = 0{,}478;\ \Delta в_{ij} = 0{,}4141.$

Расчеты показывают, что коэффициенты регрессии $в_{12} = 0{,}2575$ и $в_{22} = -0{,}305$ нельзя считать значимыми, а остальные коэффициенты регрессии можно считать значимыми с 95%-ной вероятностью.

В целях использования уравнений (4) и (5) как расчетные формулы было произведено их преобразование к именованным величинам, то есть было произведено раскодирование уравнений. Раскодирование уравнений регрессии производились по следующим формулам

- для линейных членов уравнений

$$в_i X_i = \frac{в_i}{\varepsilon_i} X_i - \frac{в_i}{\varepsilon_i} X_{oi}.$$

- для членов уравнения, содержащих взаимодействия

$$в_{ij} X_i X_{ij} = \frac{в_{ij}}{\varepsilon_i \varepsilon_j} \left(X_i X_j - X_i X_{oj} - X_i X_{oj} + X_{oi} X_{oj} \right).$$

- для квадратичных членов уравнений

$$в_{ii} X_i^2 = \frac{в_{ii}}{\varepsilon_i^2} (X_i^2 - 2 X_i X_{oi} + X_{oi}^2).$$

Раскодированное уравнение энергоемкости рабочего процесса

$$\text{У}_1 = \text{Э} = 14{,}762 \cdot 10^{-2} - 2{,}489 \cdot 10^{-2} \text{Р} - 46{,}538 \cdot 10^{-2} Q - $$
$$-14{,}856 \cdot 10^{-2} \text{Ƶ} - 6{,}424 \cdot 10^{-2} Q^2 + 18{,}9 \cdot 10^{-2} \text{Ƶ}^2. \qquad (3.23)$$

Раскодированное уравнение равномерности распределения корма по фронту кормления

$$\text{У}_2 = \mathcal{V} = 41{,}1653 - 15{,}8596 \text{Р} + 248{,}7255 Q - -294{,}3741\ \text{Ƶ} + 10{,}9481\ \text{Р} Q - $$
$$7{,}6956\ \text{Р Ƶ} - 311{,}25\ Q \text{Ƶ} + 3{,}6199\ \text{Р}^2 - -190{,}625 Q^2 + 466{,}0 \text{Ƶ}^2. \qquad (3.24)$$

Раскодированные уравнения (6) и (7) позволяют расчетным путем определить величину показателя энергоемкости рабочего процесса стационарного пневматического раздатчика кормов для овец, а также величину показателя равномерности распределения корма по фронту кормления при выборе значений рассмотренных факторов, лежащих в области эксперимента

$$\text{Р} = 1{,}324 \div 2{,}5\ \text{кПа}, \qquad Q = 0{,}28 \div 0{,}36 \frac{\text{кг}}{\text{сек}} \quad \text{и} \quad \text{Ƶ} = 0 \div 0{,}5.$$

Выражения (6) и (7) в раскодированном виде могут быть использованы при конструировании пневматических раздатчиков гранулированных кормов.

Величина энергоемкости рабочего процесса, а также равномерности распределения корма, определенные расчетным путем по уравнениям (3.23) и (3.24), хорошо согласуются с экспериментальными данными. Так, например, для опыта 14 (табл. 3.19) при $\text{Р} = 1{,}912$ кПа; $Q = 0{,}36$ кг/сек; $\text{Ƶ} = 0{,}4$, величина энергоемкости имеет наименьшее значение $\text{Э} = 1{,}852 \cdot 10^{-2}$кВт.ч/т, рассчитанное по уравнению (3.9). На этих же уровнях факторов, величина энергоемкости имеет значение $\text{Э} = 1{,}825 \cdot 10^{-2}$ кВт.ч/т.

Выводы по главе 3

1. Разработана лабораторная установка стационарного пневматического раздатчика гранулированных кормов, обоснованы методики определения основных физико-механических и аэродинамических параметров гранулированных кормов.

2. Обоснованы конструктивно-технологических параметры рабочего процесса пневматического кормораздатчика.

3. На основе отсевающего эксперимента установлены факторы, наиболее значимо влияющие на эффективность раздачи кормов: давление вентилятора, производительность дозатора и соотношение площадей сечений корможелоба и кормораздатчика.

4. По результатам планирования эксперимента разработаны уравнения регрессии энергоемкости рабочего процесса и равномерности распределения корма по фронту кормления, на основе которых можно расчетным путем определить величину показателя энергоемкости рабочего процесса стационарного пневматического раздатчика кормов для овец, а также величину показателя равномерности распределения корма по фронту кормления при выборе значений рассмотренных факторов, лежащих в области эксперимента $\text{Р} = 1{,}324 \ldots 2{,}5$ кПа, $Q = 0{,}28 \ldots 0{,}36 \frac{\text{кг}}{\text{сек}}$ и $\text{Ƶ} = 0{,}2 \ldots 0{,}5$.

Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Характеристика кормов

Экспериментальные исследования проводились на гранулированном корме с диаметром гранул 8,5 мм, средней длиной 21,2 мм, плотностью 660 … 690 кг/м^3, влажностью 13,2% с физико-механическими, аэродинамическими и качественными показателями, приведенными в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Физико-механические и аэродинамические свойства гранулированных кормов

Условное обозначение рецепта	Угол естественного откоса	Коэф. трения покоя	Влажность кормов, %	Скорость витания, V_B (м/с)	Объемный насыпной вес кормов, γ_H, кг/м^3	Плотность кормов, кг/м^3	Крошимость гранул, %	Твердость гранул, кг/см^2
1	16	0,29	13,2	10,4	691	860	5,0	3,2
2	18	0,32	13,5	10,2	698	865	5,4	3,3
3	19	0,34	12,9	10,7	687	856	5,1	3,1
4	14	0,25	12,8	10,6	682	848	4,9	3,0
5	15	0,27	13,1	10,5	690	860	4,8	3,2

Исследования по оптимизации конструктивно-режимных параметров проводились на влажной мешанке, приготовленной согласно рецепту 55-27-Т2, в состав которого входят, в %: ячмень - 34,0; зерновая смесь - 20,5; сорго - 19,0; отруби - 18,0; шрот хлопковый - 6,0; мел - 1,0; соль - 0,5; премикс - 1,0.

Для приготовления массы различной влажности, соответствующей пропорцией добавились вода, рассыпные корма и т.д. Исследования проводились также на влажной машинке, влажностью в пределах от 40-45 до 50%, плотностью 812 - 835 кг/м^2.

При разработке и исследовании различного устройства для пневматической раздачи кормов при решении задач, связанных с повышением эффективности процесса раздачи гранулированных кормов наиболее важное значение приобретает снижение энергетических затрат при функционировании кормораздатчика и равномерность распределения кормов по длине

корморазда тчика, которые обусловлены, преимущественно, режимом движения кормовоздушной смеси в пневматическим трубопроводе. В свою очередь, режим движения кормовоздушной смеси в пневматическим трубопроводе, обусловлено ее скоростью витания V_t. Последнее, являясь, одним из основных факторов, определяющих энергоэффективность процесса раздачи гранулированных кормов, зависит от ряда факторов, таких как, масса гранулы $m_г$, плотности воздуха $\rho_в$, площади поперечного сечения гранулы $A_г$, а также коэффициента сопротивления формы гранулы C_d

$$V_t = \sqrt{\frac{2m_г \cdot g}{\rho_г \cdot A_г \cdot C_d}}. \quad (4.1)$$

В частности, в распределительных трубопроводах с планируемым отводом массы кормовоздушной смеси по их длине, когда расход изменяется от больших значений в начале трубопровода до нуля у закрытого его конца, изменяется и степень турбулизации потока, распределение скорости по сечению трубопровода, коэффициент кинетической энергии, давление воздуха, которое в зависимости от величины отводимых масс гранулированных кормов может оставаться постоянным, уменьшаться или возрастать. В связи с этим, говоря о режиме движения, нужно подразумевать не только степень его турбулентности, но и распределение скорости движения по сечению трубопровода. Различают ламинарный, турбулентный и промежуточный режимы движения воздуха в трубопроводах. Считается, что при ламинарном режиме существует линейная, а при развитом турбулентном – квадратичная зависимость между затратой энергии на перемещение единицы объема воздуха (депрессией трубопровода) и скоростью его движения или расходом. Показатель степени при расходе или скорости движения воздуха (показатель режима движения) принимается соответственно равным единице или двум. При промежуточном режиме этот показатель больше единицы и меньше двух. Он изменяется с возрастанием скорости движения воздуха. В настоящее время нет зависимости для его определения. Считается, что для гладких труб квадратичный закон сопротивления, строго говоря, не имеет места. Его можно

рассматривать лишь как предельный закон при весьма больших значениях чисел Рейнольдса [64]. В литературных источниках приводятся данные экспериментальных исследований движения воздуха в выработках с высокой шероховатостью стенок при больших значениях числа Рейнольдса, когда показатель степени при скорости движения воздуха достигал значения 2,04.

Разработанный раздатчик гранулированных кормов относится к категории универсальных, так как при его помощи предполагается транспортировка и раздача различных по физико-механическим и геометрическим др. параметрам. В большинстве случаев возникает необходимость раздачи гранулированных кормов с различными геометрическими параметрами (в зависимости от направления продуктивности, живой массы, возраста и физиологического состояния овец) и, как следствие, с различными их плотностями при соблюдении оптимальных значений скорости витания гранул. При этом особое значение приобретает уровень и способ кормления, питательность кормов, режим кормления и другие факторы, оказывающие огромное влияние на продуктивность скота. Рациональное и нормированное кормление овцематок в период подготовки к осеменению обеспечивает их высокую плодовитость, нормальное течение сущности и хорошую молочность после ягнения [24].

Следовательно, возникает необходимость в разработке характеристик зависимостей скорости витания от геометрических размеров и объемной массы гранулированных кормов для определения и поддержания наименее энергозатратных режимов функционирования кормораздающей установки (рис.4.1).

4.2 Усовершенствованная конструкции пневматического раздатчика гранулированных кормов

С целью повышения энергетической эффективности предложена и разработана конструкция опытного образца пневматического раздатчика гранулированных кормов [106, 109] (рис. 4.2).

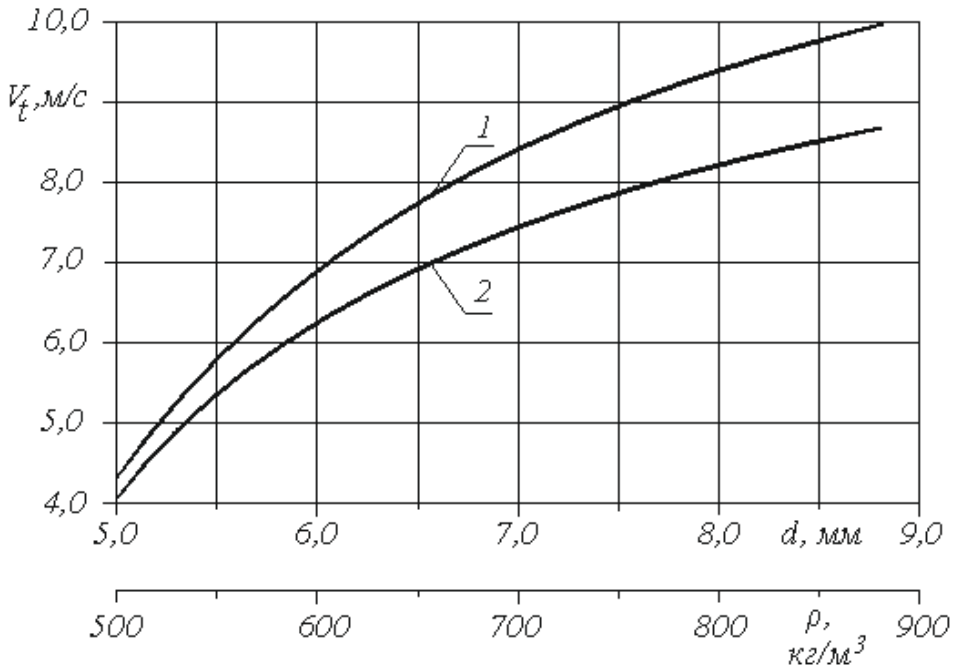


Рисунок 4.1 – Зависимость скорости витания от геометрических размеров (1) и объемной массы (2) гранулированных кормов Ø 8,5 мм

Рисунок 4.2 – Усовершенствованный экспериментальный пневматический кормораздатчик: лабораторная установка

Над кормовым желобом 1 размещен аэрожелоб 2 для удаления отработанного воздуха. Между корможёлобом 1 и аэрожелобом 2 на ребре жеткости 8 закреплена перфорированная перегородка 9 в виде фильтрующей металлической сетки, размеры ячеек которых выполнены под размеры гранул 13 (длина ≈ 20 … 25 мм, диаметр ≈ 8…10 мм).

Схема пневматического кормораздатчика с усовершенствованными

перегородками с чередованием закрытых и открытых окон, различных по длине и двустворчатым откидным днищем с возвратными пружинами на наружной стороне вертикальных стоек (по малому патенту № TJ 1658) представлена на рис. 4.3.

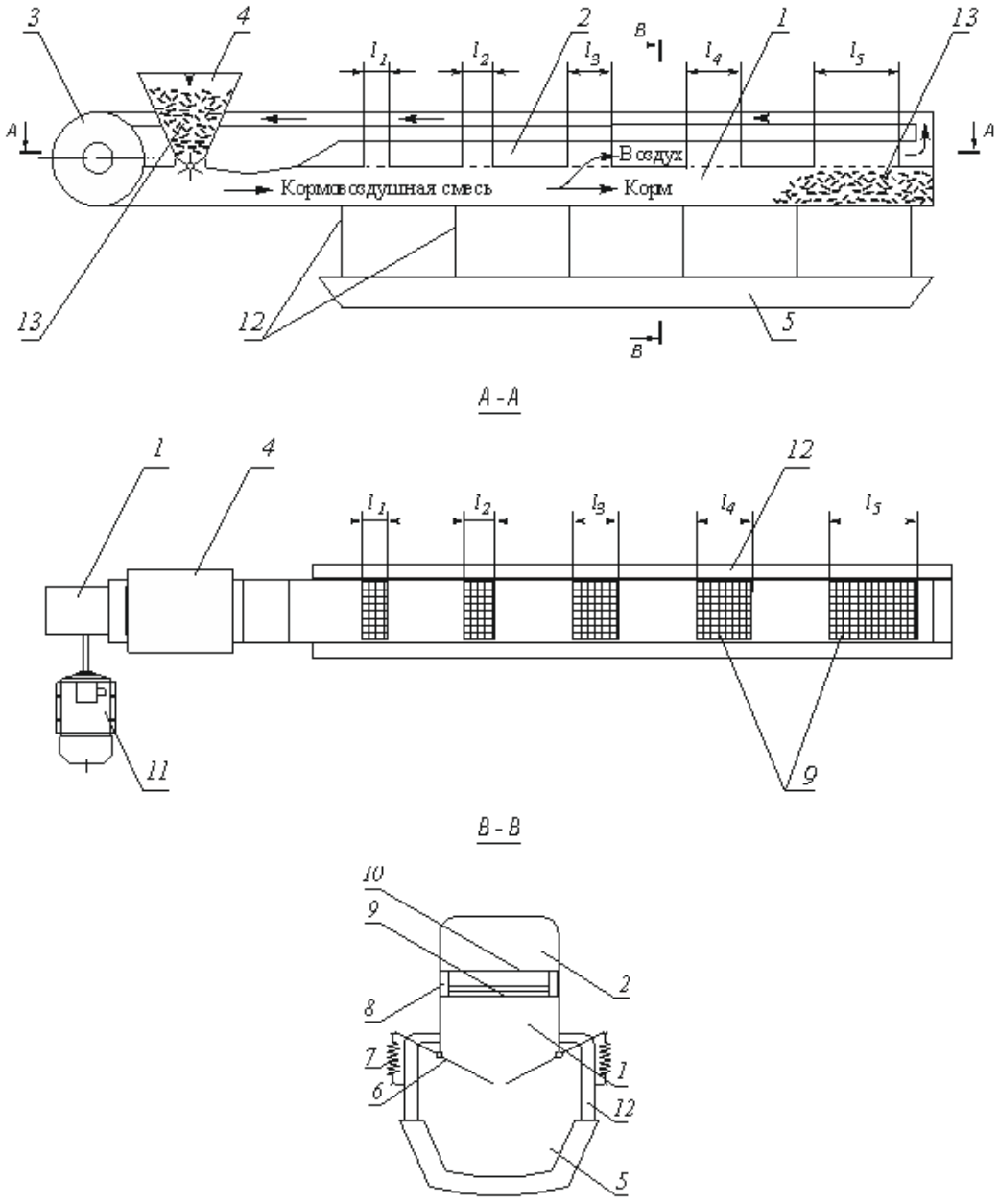


Рисунок 4.3 – Схема пневматического кормораздатчика: 1–корможёлоб; 2 – аэрожелоб; 3 – привод вентилятора 4 – бункер-питатель корможёлоб; 5 – кормушка; 6 – двустворчатое днище; 7– возвратные пружины;8 – рамка; 9 – сетка; 10 - горизонтальные заслонки; 11 – электродвигатель; 12 – рама; 13 – гранулированные корма.

Пневматический кормораздатчик содержит горизонтальный кормовой жёлоб 1, расположенный над кормушкой 5, вентилятор 3, приводимый от асинхронного электродвигателя 11 с короткозамкнутым ротором и бункер-питатель 4. Кормовой желоб 1 выполнен с откидным днищем 6, которое выполнено двустворчатым в виде двуплечего рычага (рис. 4.3), снабженным возвратными пружинами 7, установленными с наружной стороны вертикальных стоек 12.

Над фильтрующей металлической сеткой плотно установлены горизонтальные заслонки в виде металлических или пластмассовых пластин, которые размещены с переменным шагом и образуют чередующиеся закрытые окна, не пропускающие воздух и открытые перфорированные окна, для фильтрации и пропускания воздуха. Откидное днище кормораздатчика выполнено двустворчатым в виде двуплечего рычага, снабженным возвратными пружинами, установленными с наружной стороны.

Площади открытых окон, перфорированных для фильтрации воздуха и выполненных в виде металлической сетки, различны по длине кормораздатчика и увеличиваются по мере удаления от вентилятора. Размеры открытых перфорированных окон и расстояния между ними на кормовом жёлобе регулируется в зависимости от гранулометрического состава и физико-механических свойств транспортируемого корма. Длины l или площади открытых перфорированных окон S имеют следующеие соотношения

$$l_1 < l_2 < l_3 < l_4 < l_5$$

или $S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5$.

Работа кормораздатчика осуществляется следующим образом. При включении привода вентилятора из бункера-питателя корм начинает поступать в корможёлоб, где подхватывается воздушным потоком, создаваемым вентилятором. Кормовоздушная смесь по принципу наименьшего сопротивления, в первую очередь, направляется в сторону окна с наибольшим отверстием, расположенным в конце корможёлоба, наибольше удаленного от вентилятора. В результате фильтрации воздуха и отделения от

гранулированных кормов в конечном открытом перфорированном окне, последние осаждаются в конце корможёлоба, заполняя его объем. По мере заполнения гранулированным кормом полости корможёлоба, соответствующего участку открытого окна с наибольшей площадью, соразмерно уменьшается площадь открытого окна и как следствие статическое давление потока. Далее полость окна полностью закрывается осажденным гранулированным кормом, ограничивая поток воздуха через нее и снижая статическое давление потока воздуха, после чего основной поток воздуха пропускается через второе открытое окно. По мере заполнения осажденным гранулированным кормом второго открытого окна и ограничения потока воздуха через нее, из-за снижения статического давления потока воздуха, основной поток воздуха пропускается через третье открытое окно и далее аналогичный процесс продолжается до полного заполнения корможёлоба. После полного заполнения корможёлоба происходит откидывание двустворчатого днища гранулированный корм высыпается в кормушку. Облегченные створки днища, выполненного в виде двуплечего рычага, посредством возвратных пружин, установленных с наружной стороны, возвращаются в исходное положение, т.е. закрываются.

Благодаря усовершенствованию кормораздатчика достигается снижение сложности ее конструкции, упрощается регулирование воздухопотока в широких пределах для перемещения корма различного гранулометрического состава и повышается эффективность функционирования пневматического кормораздатчика.

4.3 Оценка энергоёмкости пневматического кормораздатчика

Энергоёмкость пневматического раздатчика гранулированных кормов можно определить как удельные затраты энергии на процесс транспортирования единицы массы корма транспортируемого по корможелобу, связанному с источником сжатого воздуха и бункером-питателем для корма.

Энергозатраты складываются из затрат мощности на привод рабочих органов с учётом времени их работы за цикл раздачи. Например, в кормораздатчиках с системами самозагрузки энергоёмкость процесса может быть высокой из-за использования фрезы и специального ленточного транспортёра с узлами привода.

Формирование энергоёмкость пневматического устройства для раздачи гранулированных кормов обусловлены достаточно большим числом факторов, например:

– конструктивные особенности пневматического устройства для раздачи гранулированных кормов (тип вентилятора и его привод, наличие направляющих пластин для регулирования потока воздуха путем изменения направление части воздуха в корможелоб, наличие фильтрующей перегородки из металлической сетки установлены в виде горизонтальных заслонок, размещенных с переменным шагом и образующих чередующиеся) над фильтрующей перегородкой из металлической сетки установлены горизонтальные заслонки, наличие одно – и двухстворчатого откидного днища и др.);

– геометрические параметры кормо-и аэрожелоба (форма кормопровода, длина фронта кормления, отношение площади корможелоба к суммарной площади кормо-и аэрожелоба, расстояние между направляющими пластинками при их наличии, длина и форма разгонного участка и др.);

– геометрические, физико-механические и аэродинамические параметры гранулированного корма;

– режим движения кормовоздушной смеси в пневматическом кормораздатчике (ламинарное, турбулентное, промежуточное неустойчивое);

– наличие неподвижных отделителей в транспортном трубопроводе и потери давления воздуха при транспортировании корма;

– сдвиг и обрушение кормовой массы на завершающем этапе дозирования, которые увеличивают энергоёмкость, так как силы внутреннего трения больше сил сопротивления кормоотделителя;

– свойства кормового материала (влажность, длина частиц, степень уплотнения) — влияют на равномерность дозирования.

Методы снижения энергоемкости пневматических устройств для раздачи гранулированных кормов связаны с оптимизацией конструктивно-режимных параметров работы кормораздатчика и использованием автоматических систем регулирования для стабилизации режимов транспортирования, так как в реальных условиях при колебаниях производительности эксплуатационные режимы часто удалены от оптимальных за счёт использования увеличенных скоростей воздуха и давлений.

Согласно исследованиям В. П. Карпова и Н. В. Повалихина: «Мощность, необходимая для выполнения технологического процесса раздачи корма, складывается из следующих составляющих:

- на вращение ротора и создание воздушного потока, назовем это вентиляторной составляющей;

- на выгрузку корма и придание массе корма определенной скорости, это будет составляющая кинетической энергии корма;

- на вращение бункера;

- поскольку в бункере происходит только естественное пересыпание корма под действием силы тяжести, это составит гравитационную составляющую.

Остальные составляющие в режиме раздачи корма, когда линейная скорость элементов ротора относительно невелика, не являются существенными» [41, с. 139-140].

Вентиляторная и кинетическая составляющие удельная мощности пневматических кормораздатчиков в виде напорной характеристики и эпюры распределения скоростей представлены на рис. 4.4 и 4.5.

Как видно из напорной характеристики и эпюры распределения скоростей для усовершенствованной конструкции пневматического кормораздатчика с двустворчатым откидным днищем процесс раздачи кормов осуществляется при более благоприятном напорном и скоростном режиме, что

безусловно способствует повышению энергетической эффективности и равномерности распределения гранулированного корма по длине фронта кормления.

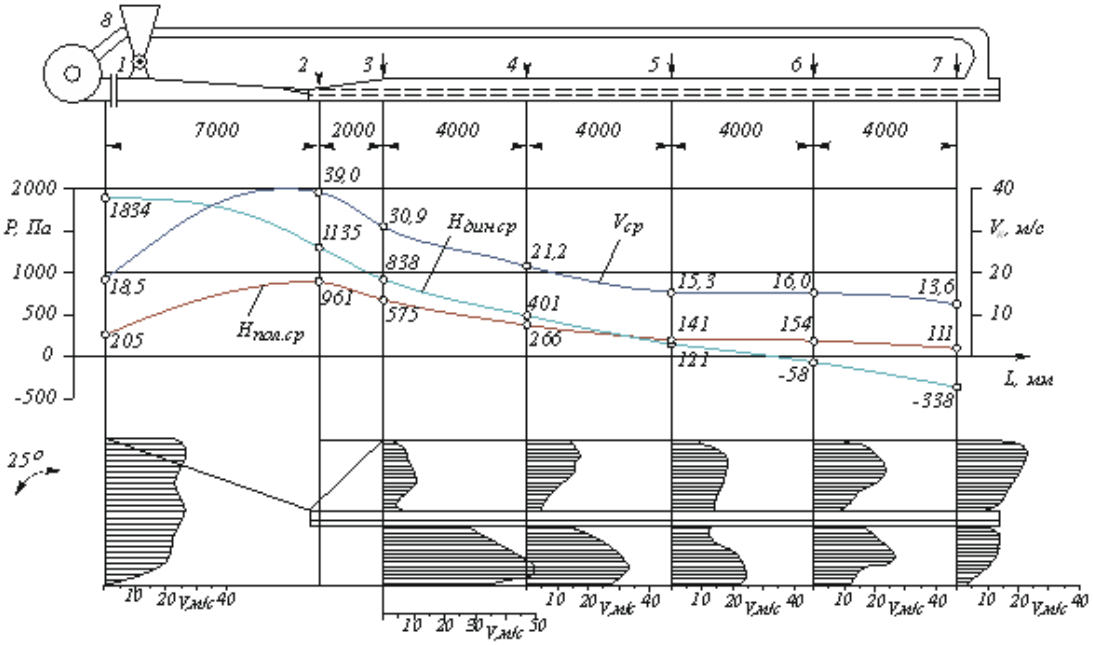


Рисунок 4.4 – Напорные характеристики и эпюры распределения скоростей при наличии направляющих пластин измененной формы над фильтрующим элементом пневматического кормораздатчика с двустворчатым откидным днищем

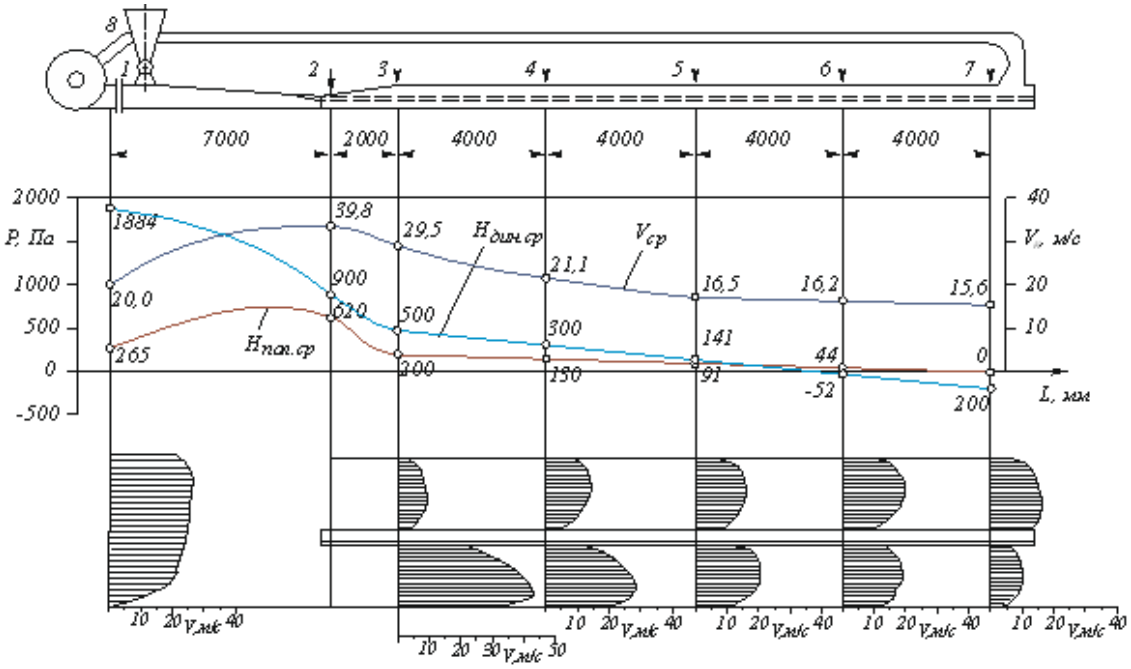


Рисунок 4.5 – Напорные характеристики и эпюры распределения скоростей усовершенствованной конструкции пневматического кормораздатчика с двустворчатым откидным днищем

На основе анализа аэродинамических свойств гранулированных кормов установлен рациональный скоростной режим потока воздуха, необходимого для обеспечения витания гранул.

Результаты сравнительной оценки производительности и энергоемкости различных конструкций пневматических раздатчиков гранулированных кормов представлены на рис. 4.6 и 4.7.

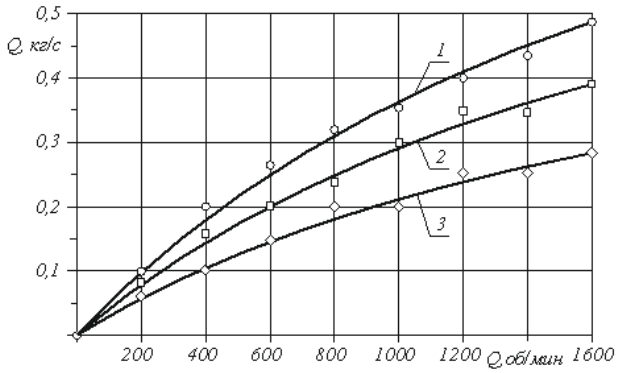


Рисунок 4.6 –Зависимости производительностей различных пневматических раздатчиков гранулированных кормов от оборота вентилятора:
1 – пневматический кормораздатчик усовершенствованной конструкции;
2 – пневматический кормораздатчик с направляющей пластинкой;
3 – пневматический кормораздатчик без направляющей пластинки

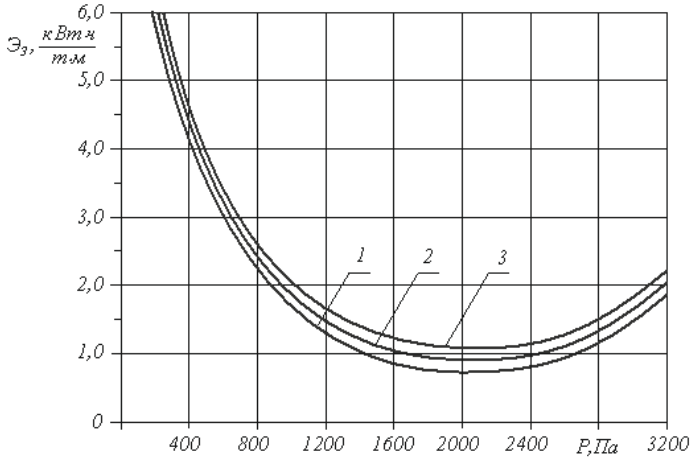


Рисунок 4.7 – Зависимости энергоемкостей различных пневматических раздатчиков гранулированных кормов от давления:1 – пневматический кормораздатчик предложенной конструкции; 2 – пневматический кормораздатчик с направляющей пластинкой; 3 – пневматический кормораздатчик без направляющей пластинки

4.4 Оценка неравномерности раздачи кормов пневматическим корораздатчиком

Важным фактором, определяющим качество раздачи гранулированных кормов является неравномерность их раздачи, которая характеризуется как отклонение от установленной нормы выдачи корма вдоль всего фронта кормления.

Согласно зоотехническим требованиям, отклонение неравномерности распределения по концентрированным, в том числе и гранулированным кормам не должно превышать установленной нормы более чем на ± 5%, которое регламентировано ГОСТ 34748-2021 [16].

Оценка неравномерности раздачи, как процесс анализа отклонений фактической нормы раздачи корма от заданной по фронту кормушки необходимо выполнять при работе пневматического раздатчика кормов в режимах минимальной, оптимальной и максимальной норм раздачи. Пробы отбирались не менее чем в 10 точках через равные промежутки (через каждые 1 м) по всему фронту кормушки. Собранный корм взвешивались отдельно с каждого участка, длины участков измерялись с точностью 1 мм. Опыты выполнялись с трёхкратной повторностью. По результатам экспериментов составлен вариационный ряд, по результатам которого составлен вариационный ряд. Неравномерность раздачи кормов численно оценивалась по рассчитанному коэффициенту вариации по методике согласно РТМ 44-62 [96].

Неравномерность раздачи кормов, как процесс анализа отклонений фактической нормы раздачи корма от заданной, для предлагаемой конструкции корораздатчика, оценивалась по стандартному отклонению в кг. При этом, определялась масса гранулированного корма на *i*-ом метровом участке погонном метре фронта кормления и число измерений в каждом опыте.

Эмпирическое и теоретическое распределения частот удельной массы гранулированных кормов, отнесенных на погонный метр для корораздающих устройств различных конструкций представлены на рис. 4.8. Результаты обработки экспериментальных данных показывают, что эмпирические

характеристики распределения удельной массы гранул на погонном метре кормушки хорошо согласуются с теоретическим нормальным законом распределения. Вероятности согласия распределения частот удельной массы гранул на погонном метре кормушки $P(\chi^2)$ находятся в пределах 0,038 … 0,68. При этом коэффициенты их вариации изменяются в пределах 4,7…4,9 %.

На основе уравнений регрессии, полученных из многофакторного анализа данных построены график зависимости неравномерности распределения гранулированных кормов υ (коэффициента вариации, как показатель колеблемости неравномерности распределения кормов относительно среднего уровня) от давления воздуха P, создаваемого вентилятором и соотношения площади корможелоба к площади корморазда тчика Z в трехмерном измерении (рис. 4.9).

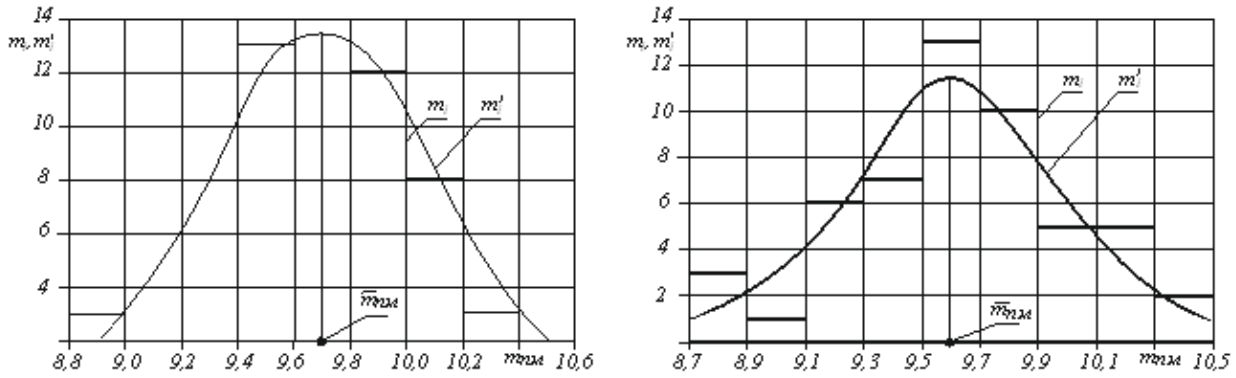


Рисунок 4.8 – Эмпирическое и теоретическое распределения частот удельной массы гранул на погонном метре кормушки пневматического раздатчика гранулированных кормов овцам: *а* – усовершенствованный ($m_{пм.\,ср}$ = 9,7 кг; σ_m = 45,59 кг; υ_m = 4,7%; $P(\chi^2)$ =0,68); *б* – с направляющей пластинкой ($m_{пм.\,ср}$ = 9,6 кг; σ_m = 47,04 кг; υ_m = 4,9 %; $P(\chi^2)$ =0,63)

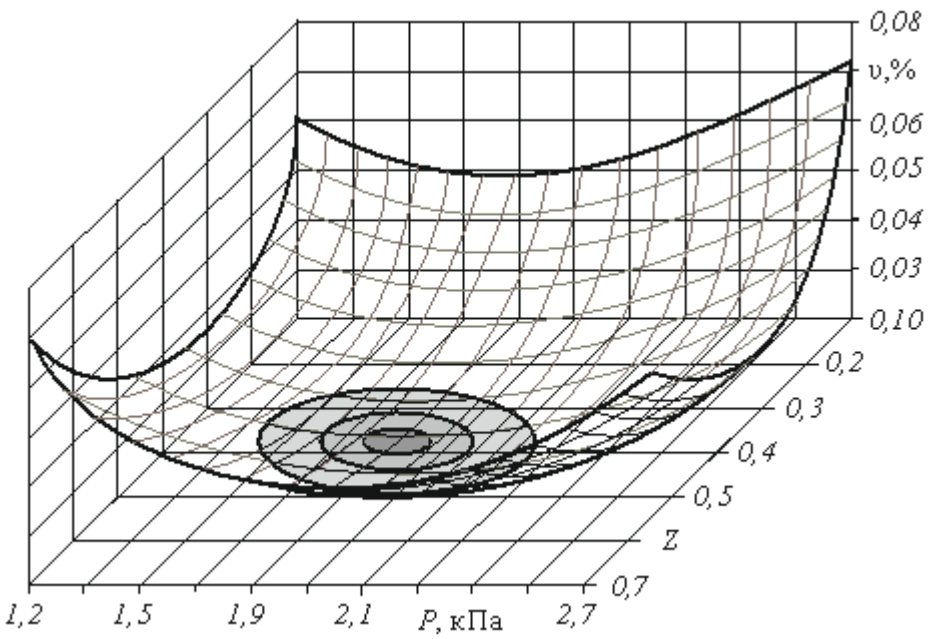


Рисунок 4.9 – График зависимости неравномерности распределения гранулированных кормов υ (коэффициента вариации, как показатель колеблемости неравномерности распределения кормов относительно среднего уровня) от давления воздуха P, создаваемого вентилятором и соотношения площади корможелоба к площади кормораздатчика Z

Как следует из графика оптимальные значения неравномерности распределения корма по длине фронта кормления находятся в пределах 4,5…5,0 % при давлении вентилятора, равного 1,35 … 1,45 кПа и соотношения площадей поперечного сечения корможелоба и кормораздатчика, находящегося в пределах 0,25 … 0,40.

Выводы по главе 4

1. Установлены зависимости производительностей различных пневматических раздатчиков гранулированных кормов от оборота вентилятора, а также зависимости энергоемкостей различных пневматических раздатчиков гранулированных кормов от давления.

2. Энергетическая эффективность функционирования кормораздатчиков по удельной мощности обоснованы по вентиляторным, кинетическим и

гравитационным составляющим, на основе чего разработаны напорные характеристики и эпюры распределения скоростей кормораздатчиков.

3. Эмпирические частоты удельной массы гранул на погонном метре кормушки пневматического раздатчика гранулированных кормов овцам согласуются с теоретическим нормальным законом распределения (законом распределения Гаусса) с показателями для усовершенствованного кормораздатчика $m_{пм.\ ср}$ = 9,7 кг; σ_m = 45,59 кг; υ_m = 4,7%; $P(\chi^2)$ =0,68), а для базового кормораздатчика – $m_{пм.\ ср}$ = 9,6 кг; σ_m = 47,04 кг; υ_m = 4,9 %; $P(\chi^2)$ =0,63).

4. Установлены оптимальные значения неравномерности распределения корма по длине фронта кормления, которые находятся в пределах 4,5…5,0 % при давлении вентилятора, равного 1,35 … 1,45 кПа и соотношения площадей поперечного сечения корможелоба и кормораздатчика, находящегося в пределах 0,25 … 0,40.

Глава 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ РАЗДАЧИ ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВ

5.1 Методика оценки энергетической эффективности пневматической раздачи гранулированных кормов

Отмечая важность энергоэкономической оценки сельскохозяйственного производства через энергетические эквиваленты стоимости продукции отраслей, Н.В. Самойлова пишет: «Энергосбережение в настоящее время является одним из основных источников экономического роста. Для повышения энергетической эффективности деятельности предприятий АПК большое значение имеет совершенствование методических основ энергоэкономической оценки сельскохозяйственного производства» [97, с.94].

Далее Н.В. Самойлова отмечает, что: «Энергетические ресурсы имеют ключевое значение в экономике. Во-первых, любые процессы в производственной сфере связаны с расходом энергии. Энергетические затраты пронизывают все сферы материального производства, являются важнейшей и неотъемлемой частью как основного, так и оборотного капитала. Во-вторых, энергетические ресурсы на сегодняшний день являются дефицитными и определяют пределы экономического развития. В связи с этим энергосбережение и повышение энергетической эффективности следует рассматривать как один из основных источников экономического роста» [97, с.94].

В общем смысле слова эффект – это просто результат той или иной деятельности, а в частности применительно к пневматической раздаче гранулированных кормов, эффект может быть определен как перемещение или транспортирование гранул по герметичному трубопроводу под действием разницы давлений воздуха в нем, обеспечивающем скорость потока, превышающей скорости витания гранул.

Эффект может быть как положительным, так и отрицательным. В процессе транспортировки и раздачи гранулированных кормов, наблюдается совокупное возникновение как положительных, так и отрицательных эффектов.

Причем, положительные эффекты (эффект транспортирования гранул, эффект витания гранул и др.) значительно превышают отрицательные, препятствующие свободному транспортированию гранул (эффект турбулизации, коэффициент формы гранул, сопротивление воздуха, не соответствие соотношения площади поперечного сечения корможелоба к площади кормораздатчика и др.).

Эффект – величина абсолютная, т.е. он характеризует абсолютный результат реализации того или иного процесса и определяется как разница между результатами деятельности (в нашем случае, затраты энергии и денежных средств) и затратами для их осуществления (пневматической раздачи гранулированных кормов с соблюдением зоотехнических требований к кормораздатчикам). Следовательно, эффект транспортирования и раздачи кормов $Э_{тр}$ может быть определен из выражения

$$Э_{тр} = Р – З\,, \qquad (5.1)$$

где $Р$– результат деятельности, связанный с раздачей кормов; $З$ – затраты на осуществления процесса раздачи кормов.

Что касается эффективности, то она характеризуется как исключительно следственное свойство какого-либо действия, при этом отражающее успешность действия в той или иной мере. С другой стороны эффективность может быт определена как относительный эффект, результативность процесса, операции, проекта, определяемые как отношение эффекта или результата к затратам, расходам, обеспечившим его получение.

Согласно ГОСТ 31532—2012: «Показатели энергоэффективности продукции классифицируют по:

а) группам однородной продукции.

Пример — Показатели энергоэффективности электродвигателей, паровых турбин, холодильников:

б) виду используемых энергоресурсов (энергоносителей).

Пример — Показатели энергоэффективности использования электроэнергии, топлива (котельно-печное, моторное), тепловой энергии

(горячая вода, водяной пар. хладагенты), сжатого газа, воды, находящейся под давлением, энергии физических полей (электромагнитное, акустическое, радиационное) и т. п.;

в) методам определения показателей:

1) расчетно-аналитический;

2) опытно-экспериментальный;

3) статистический;

4) приборный;

5) смешанный.

Расчетно-аналитический метод основывается на использовании методик определения расчетных значений показателей при проектировании изделий.

Опытно-экспериментальный метод основывается на данных специально организованных экспериментов с опытными образцами энергопотребляющей продукции с проведением специальных измерений характеристик для оценки показателей энергоэффективности.

Статистический метод основывается на подборе и обработке статистических данных по показателям энергоэффективности продукции, выбранным в качестве прототипов исследуемого образца.

Приборный метод основывается на проведении специальных испытаний промышленных образцов продукции и измерений фактических значений показателей энергоэффективности.

Смешанный метод представляет собой комбинацию двух или большего числа вышеперечисленных методов;

г) области использования;

1) прогнозируемые показатели;

2) планируемые показатели.

3) фактические показатели:

д) уровню интегрированности рассматриваемого объекта…» [15, с.7-8].

Эффективность как относительный показатель выражается в виде отношения результатов к затратам, необходимым для получения данных результатов

$$Эфф_{тр} = Р/З. \quad (5.2)$$

Эффективность может быть определена также как отношение затрат, необходимых для получения результатов к полученным результатам

$$Эфф_{тр} = З/Р. \quad (5.3)$$

Другими словами, предполагается, что эффективность может быть охарактеризована, как отношение разницы между средневзвешенными значениями положительных P^+ и отрицательных P^- эффектов в рамках протекания того или иного процесса к полученному результату

$$Эфф_{тр} = (P^+ - P^-)/З. \quad (5.4)$$

Или же как

$$Эфф_{тр} = З / (P^+ - P^-). \quad (5.5)$$

Следует отметить, что на формирование эффективности пневматической раздачи гранулированных кормов влияют различные факторы, (рис. 5.1), действия которых необходимо учитывать при определении полученных результатов и затрат.

Высотная поясность или высотная ландшафтная зона характеризуется образованием полосы, со сравнительно однородными природными условиями, а также изменением климата с высотой: на каждый километр высоты температура воздуха снижается в среднем на 6 °С, уменьшается давление воздуха, его запылённость, на высотах 2 … 3 км н.у.м. увеличивается облачность и количество осадков.

Дать оценку эффективности раздачи кормов пневматическим аппаратом представляется сложной задачей, тому причиной является зависимость эффективности процесса от большого числа факторов, неоднозначным характером взаимосвязи, вероятностной природой их проявления. С учетом этого предлагается оценка энергетической эффективности пневматической раздачи гранулированных кормов с учетом условий их функционирования. При

этом, предполагается, что зоотехнические требования к раздаче гранулированных кормов не выходят пределы нормы.

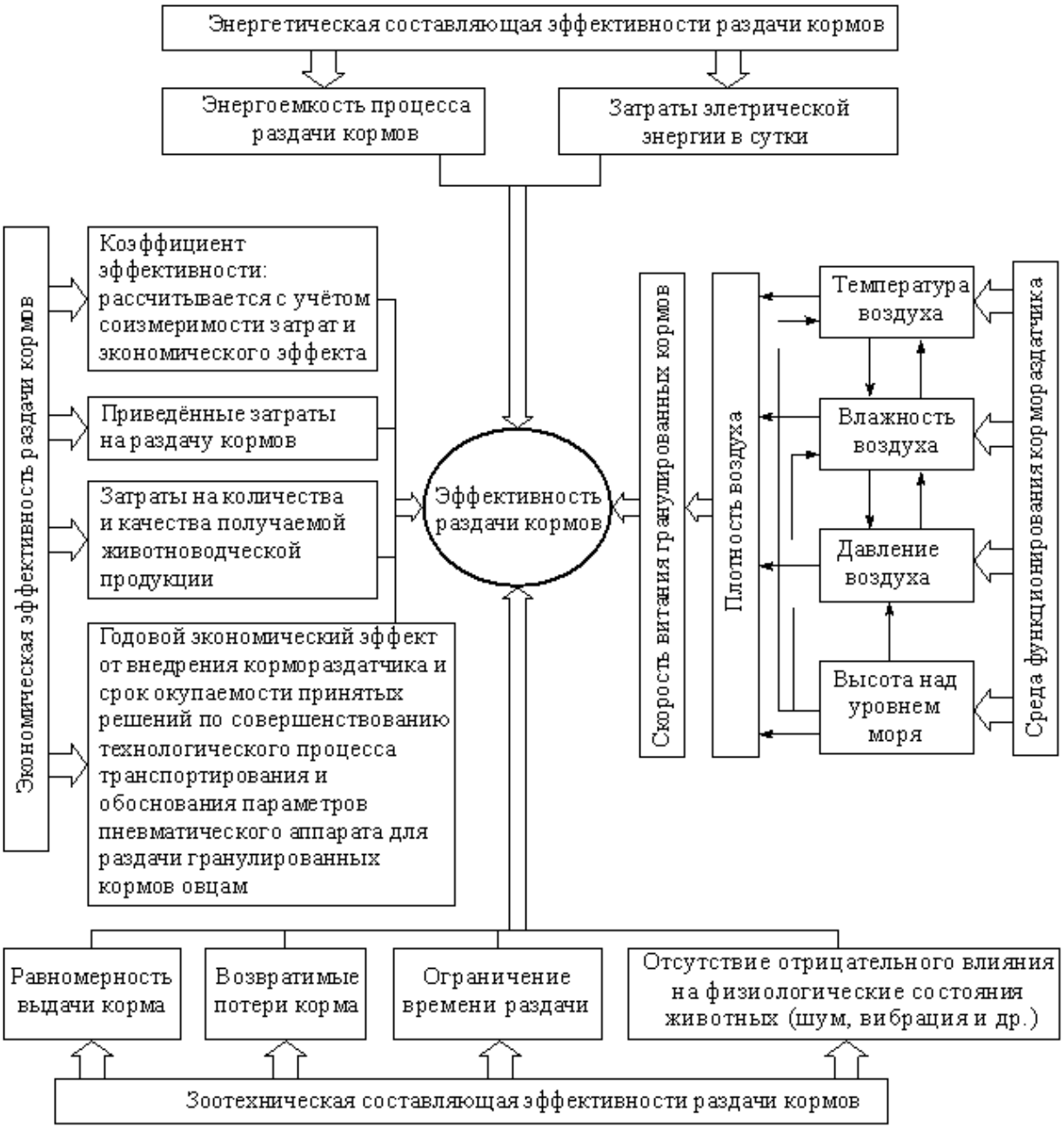


Рисунок 5.1 – Структурная схема факторов, влияющих на формирование эффективности функционирования пневматического раздатчика гранулированных кормов (разработка автора)

Ю.Б. Курков, Т.А. Краснощекова, А.В. Якименко, С.А. Иванов, Н.К. Власенко, исследуя эффективность технологий производства и раздачи кормов с учетом показателей качества выполнения технологических операций, отмечают,

что: «Наиболее высокая эффективность работы технологических линий приготовления и раздачи кормов животным будет достигнута в том случае, когда наряду с ростом ее количественных показателей (производительности линии), обеспечивается повышение качественных показателей работы. К ним относятся:

– снижение потерь питательных веществ корма при его хранении, приготовлении и раздаче;

– сокращение его удельного расхода путем использования сбалансированных по питательности кормовых смесей и равномерной своевременной выдачи его животным;

– снижения энергозатрат на производство единицы продукции;

– увеличение надежности работы технологических линий и равномерной загрузки их в течение всего года; – увеличение продуктивности животных и производства продукции;

– снижение ее себестоимости» [54, с. 173].

Энергетическая эффективность $E_э$ раздачи гранулированных кормов определяется, в соответствии с ее определением, из выражения

$$\text{Е}_\text{э} = \frac{\text{Э}_p}{\text{Э}_\text{з}}, \qquad (5.6)$$

где $Э_Р$ – затраты энергии, необходимые для формирования результата деятельности, связанный с раздачей кормов; $Э_З$ – энергетические затраты, необходимые для получения данных результатов.

С учетом потерь энергии на осуществление процесса раздачи гранулированных кормов пневматическим кормораздатчиком, энергия, необходимая для формирования результата деятельности, определяется из выражения

$$\text{Э}_p = N_\text{эд} \cdot t \cdot \eta_\text{эд} \cdot \eta_\text{пр} \cdot \eta_\text{вен} \cdot \eta_\text{доз} \cdot \eta_\text{кп}, \text{ кВт·ч} \qquad (5.7)$$

где $N_{эд}$ – мощность, потребляемая электродвигателем (трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, марки 4А13284У3: $N_{эд}$ =7,5 кВт, $n_н$ = 1450 об/мин., $\eta_н$ = 0,875); t-время, затраченная на осуществление процесса раздачи кормов, ч; $\eta_{эд}$ = 0,875 – КПД

электродвигателя; $\eta_{пр}$ = 0,94 – КПД привода вентилятора; $\eta_{пр}$ = 0,,758 – КПД центробежного вентилятора; $\eta_{пр}$ = 0,8 – КПД шлюзового дозатора; $\eta_{вп}$ = 0,95 – КПД кормопровода четырехугольного поперечного сечения.

Подставляя выражение (5.7) в формулу (5.6), получим

$$Э_э = \frac{N_{эд} \cdot t \cdot \eta_{эд} \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_{вен} \cdot \eta_{доз} \cdot \eta_{кп}}{Э_з}. \quad (5.8)$$

Результаты расчетов по фомуле (5.8) сведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Эффективности пневматических корморазда тчиков

Показатель	Пневматический корморазда тчик			
	с усовершенствованными направляющими пластинками и двустворчатым откидным днищем (по малому патенту № TJ 1440)		с усовершенствованными перего-родками с чередованием закрытых и открытых окон, различных по длине и двустворчатым откидным днищем с возвратными пружинами на наружной стороне вертикаль-ных стоек (по малому патенту № TJ 1658)	
	в предгорных и равнинных условиях применения	в горных и высокогорных условиях применения	в предгорных и равнинных условиях применения	в горных и высокогорных условиях применения
Производительность, т/ч	1,70 – 1,80	1,00 – 1,48	1,75 – 1,85	1,05 – 1,55
Энергоемкость, кВт·ч/т·м	0,85 - 0,95	1,28 – 1,56	0,70 - 0,82	1,20 - 1,50
Зоотехнические требования	Равномерность раздачи кормов до 5,0 %, возвратимые потери корма до 1,0 %, время раздачи 10 мин., отрицательные влияния на физиологические состояния животных отсутствуют			
Эффективность среды функционирования корморазда тчика, %	88 – 96	36 – 85	90 – 98	41 – 88
Энергетическая эффективность, %	0,48 – 0,50	0,34 – 0,38	0,52 – 0,56	0,38 – 0,44

Как следует из данных, приведенных в табл. 5.1, основные энергетические эффективности, а также эффективности среды функционирования корморазда тчика варьируют в широких пределах, в зависимости от условий их применения при соблюдении установленных зоотехнических требований к качеству раздаваемого гранулированного корма овцам. Наибольшей энергетической эффективностью обладает предлагаемый пневматический

корморазда тчик с усовершенствованными перегородками с чередованием закрытых и открытых частей, различных по длине и двустворчатым откидным днищем с возвратными пружинами на наружной стороне вертикальных стоек. Наблюдается резкое снижение эффективности процесса пневматического корморазда тчика с высотной поясностью и повышением температуры воздуха.

5.2 Экономическая эффективность применения пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам

С целью аргументирования эффективности разработанных мероприятий и принятых решений по совершенствованию технологического процесса транспортирования и обоснованию параметров пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам возникает необходимость технико-экономического обоснования применения нового поколения корморазда тчиков по обслуживанию разных возрастных категорий овец, одновременно до 200 голов.

На основе исследования инновационных направлений развития техники для механизации и автоматизации процессов овцеводства и экономической эффективности их применения Мирзоянц Ю.А. пишет, что: «При существовании системы показателей критерием экономической эффективности выступает наиболее важный из них, определяющий индикатор при выборе варианта инженерного решения. При оценке эффективности инвестиционных проектов решение принимается на основе всей системы показателей (чистый дисконтированный доход, индекс доходности, рентабельность инвестиций, срок окупаемости и др.) или на основе отдельных показателей, которые являются для инициатора проекта приоритетными.

При оценке отдельных производственнотехнических мероприятий учеными предложено большое многообразие показателей эффективности: трудоемкость и производительность труда; срок окупаемости дополнительных капитальных вложений; годовая экономия эксплуатационных издержек и

годовой экономический эффект; затраты кормов на единицу продукции, стоимость одного скотоместа, изменение индекса технической вооруженности труда, индекса овеществления процессов труда, индекса межотраслевого перемещения труда, индекса экономической эффективности научно-технического прогресса и другие показатели.

В системе показателей при оценке эффективности отдельных мероприятий по совершенствованию технологии и средств механизации при производстве продукции (в т.ч. и продукции овцеводства) следует выделить достойное место показателю себестоимости продукции. Снижение себестоимости способно решить двуединую задачу: обеспечить рост конкурентоспособности продукта на рынке и сформировать конкурентоспособность товаропроизводителя как субъекта хозяйственной и экономической деятельности.

Целесообразность экономической эффективности инвестиций при внедрении разрабатываемых установок определяется по следующей системе показателей: капитальные затраты на изготовление или модернизацию конструкции; производственно-эксплуатационные затраты на год; коэффициент эффективности модернизации; срок окупаемости установки; годовой экономический эффект. Кроме основных показателей, для полноты обоснования инженерного решения следует рассчитать капиталоемкость, энергоемкость, материалоемкость на 1 ц продукции и др.» [73, с.127].

При механизированной раздаче гранулированных кормов целесообразным является применение стационарных пневматических кормораздатчиков. Основное их преимущество по сравнению с тракторными раздатчиками состоит в том, что они более надёжны в работе и достаточно просты в эксплуатации, отличаются достаточной энергетической эффективностью при соблюдении зоотехнических требований [26, 40, 53].

С целью повышения эффективности функционирования предлагаются совершенствование технологического процесса и конструкции пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам.

Основные технико-экономические показатели данного аппарата определялись сравнением базового и предлагаемого вариантов кормораздатчиков.

Основная оплата труда без начисления $З_п$ определяется из выражения

$$З_{от} = Д_р \cdot Т_{рс} \cdot С_ч \, n_{оп}, \text{ сомони/год} \quad (5.9)$$

где $Д_р$ – дней в году, для раздачи пневматического корма овцам принимается 365 дней; $Т_{рс}$ – продолжительность рабочей смены (7 часов); $С_ч$ – часовая тарифная ставка (14,44 сомони/ч, принимается исходя из существующего тарифа $З_{от.min}$ =1000,0 сомони/год) и $n_{оп}$ – число обслуживающего персонала (1 чел.). Часовая тарифная ставка принимается сдельной, по существующему тарифу $З_{от.min}$ =1000,0 сомони/год. Исходя из этого, принимаем $С_ч$ = 14,44 сомони/ч. Тогда

$З_{от}$ = 365·7·14,44·1 = 36894,2 сомони/год.

Дополнительная оплата труда в размере 10% от основной, равняется

$З_{до} = З_{от}$·0,1 = 36894,2 · 0,1 = 3689,42 сомони/год.

Оплата по районному коэффициенту, 25% от основной оплаты труда

$З_р = (З_{от} + З_{до})$·0,25 = (36894,2 + 3689,42) ·0,25 =10145,9 сомони/год.

Отчисление в единый социальный налог 25,0 %.

$З_{сн} = (З_{от} + З_{до} + З_р)$·0,25 = (36894,2 + 3689,42+ 10145,9) ·0,25 = 12682,38 сомони/год.

Итого зарплата с начислениями составит

$З_{оп} = З_{от} + З_{до} + З_р + З_{сн}$ = 36894,2 + 3689,42+ 10145,9+12682,38 =

= 63412,9 сомони/год.

Затраты на электрическую энергию определяются при:

- мощности электродвигателя $N_{эд}$ = 7,5 кВт;

– стоимости электроэнергии $С_{ээ}$ = 0,8090 сомони/(кВт·ч) без НДС для оборудования животноводческих ферм.

Тогда годовые затраты на электроэнергию $З_{ээ}$ составляет

$$З_{ээ} = Э_г \cdot С_{ээ} = N_{эд} \cdot К_{дн} \cdot t_с \cdot С_{ээ}, \text{ сомони/год} \quad (5.10)$$

где $Э_г$ – годовая потребность электроэнергии, кВт; $К_{дн}$ – число дней в году, дни, ч; $t_с$ – подолжительность работы аппарата в день; $С_{ээ}$ – стоимость электроэнергии, сомони/(кВт·ч).

$З_{ээ}$ = 7,5·365·3·0,8090 = 6643,9 сомони/год.

Амортизационные отчисления

$$А_м = С_к \cdot А_о \text{ , сомони/год} \quad (5.11)$$

где $С_к$ – стоимость кормораздатчика, сомони; $А_о$ = 16% - годовые амортизационные отчисления.

$А_м$ = 35300·0,16 = 5648 сомони/год.

Текущие затраты на содержание пневматического совершенствованного кормораздатчика включают расходы на амортизацию $А_м$**,** техническое обслуживание $З_{ТО}$ (10 % от стоимости кормораздатчика), приобретение запчастей $З_{зч}$ (4 % от стоимости кормораздатчика) и затраты на электроэнергию $З_{ээ}$

$$Т_{зс} = А_м + З_{ТО} + З_{зч} + З_{ээ} . \quad (5.12)$$

$Т_{зс}$ = 5648 + 3530 + 1200 + 6643,9 = 17021,9 сомони/год.

Капитальные вложения на внедрение совершенствованного аппарата раздачи кормов

$$К_с = С_к + С_{мр} + С_{тр} + С_{пк} + С_{пр} , \quad (5.13)$$

где $С_к$ - стоимость кормораздатчика, сомони;

$С_{мр}$ – затраты на монтажные работы, сомони;

$С_{тр}$ – транспортные расходы, сомони;

$С_{пк}$ – затраты на проектирование кормораздатчика, сомони;

$С_{пр}$ – затраты на непредвиденные затраты (3–5% от фонда затрат), сомони.

$К_с$ = 35300+ + 2932 + 510 + 127 + 935 =39804 сомони.

Коэффициент сравнительной экономической эффективности определяется из отношения

$$Е = (Т_{зб} – Т_{зс})/(К_б – К_с), \quad (5.14)$$

где $Т_{зб}$, $К_б$, $Т_{зс}$ и $К_с$ – соответственно, текущие затраты и капитальные вложения для внедрения и эксплуатации базовой и сравниваемой моделей

пневматической кормораздатчика, которые определяются аналогично показателям совершенствованной.

E = (25466 –17321,9)/ (51370 – 39804) = 0,73.

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений является обратным выражением коэффициента сравнительной экономической эффективности и исчисляется как отношение дополнительных капиталовложений к экономии от текущих затрат при внедрении совершенствованного пневматического кормораздатчика

$O_к = (К_б – К_с)/(Т_{зб} – Т_{зс})$ = (51370 – 39804)/(25496 –17321,9) = 1,4 год.

Экономическая эффективность от экономии электрической энергии $Э_{эн}$ определяется из выражения

$$Д = Э_{эн} \cdot С_{ээ}\text{ , сомони/год} \qquad (5.15)$$

где $С_{ээ}$ – цена 1 кВт.ч электрической энергии. Для промышленных предприятий $С_{ээ}$ = 0,8090 сомони/ кВт.ч.

Экономии электрической энергии определяется как разница затрат на электрическую энергию базовой $Э^б_{эн}$ и предложенной $Э^п_{эн}$ кормораздатчиков

$$Э_{эн} = Э^б_{эн} – Э^п_{эн} = N^б_{эд} \cdot К_{дн} \cdot t_с – N^п_{эд} \cdot К_{дн} \cdot t_с\text{ , квт·ч/год} \qquad (5.16)$$

где $N^б_{эд}$ и $N^п_{эд}$ – мощности электродвигателей базовой и предложенной кормораздатчиков; $К_{дн}$ – календарные дни работы кормораздатчика; $t_с$ – время суточной загрузки кормораздатчика, ч. С учетом того, что $N^б_{эд}$ = 11,0 кВт и $N^п_{эд}$ = 7,0 кВт, $К_{дн}$ =365 *дней,* $t_с$= 3 *час.*, из выражения (5,16) получим годовую экономию электроэнергии на 1 установку

$Э_{эн}$ =11,0·365·3 – 7,5·365·3= 3832,5 квт·ч/год.

Экономическая эффективность от экономии электрической энергии $Э_{эн}$ равняется

$Д$ = 3832,5·0,8090 = 3100,5 сомони/год.

Основные сравнительные технико-экономические показатели пневматических кормораздатчиков представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Сравнительные технико-экономические показатели пневматических базовых и совершенствованных кормораздатчиков

№	Показатель	Единицы измерения	Базовый	Совершенствованный
1	Зарплата с начислениями в год	сомони/год	63412,9	63412,9
2	Амортизация кормораздатчика	сомони	5948	5648
3	Затраты на электрическую энергию	сомони	8133,9	6643,9
4	Текущие затраты	сомони	25466	17021,9
5	Капиталовложения	сомони	51370	39804
6	Время раздачи	мин	10,0	9,5
8	Экономическая эффективность от экономии электрической энергии	сомони/год	-	3100,5
9	Коэффициент экономической эффективности	–	–	0,73
10	Срок окупаемости	лет	–	1,4

Выводы по главе 5

1. Сформулированы и уточнены определения понятий эффекта и эффективности применительно к процессу пневматического транспортирования и раздачи гранулированных кормов.

2. Систематизированы и обоснованы действия основных факторов на эффективность технологического процесса транспортирования и разработана структурная схема факторов, влияющих на формирование эффективности функционирования пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам.

3. Разработана методика и формула для определения энергетической эффективности пневматического кормораздатчика.

4. Получены расчетные данные показателей энергетической эффективности пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов, которые изменяются в широких пределах в зависимости от условий эксплуатации:

– для пневматического кормораздатчика с усовершенствованными направляющими пластинками и двустворчатым откидным днищем (по малому патенту № TJ 1440): $0{,}48 \leq Э_э \geq 0{,}50$ – в предгорных и равнинных условиях в

горных и высокогорных условиях применения; 0,34 ≤ Э$_э$ ≥ 0,38 –в горных и высокогорных условиях применения;

– для пневматического кормораздатчика с усовершенствованными перегородками с чередованием закрытых и открытых частей, различных по длине и двустворчатым откидным днищем с возвратными пружинами на наружной стороне вертикальных стоек: 0,52 ≤ Ээ ≥ 0,56 – в предгорных и равнинных условиях в горных и высокогорных условиях применения; 0,38 ≤ Ээ ≥ 0,44 –в горных и высокогорных условиях применения.

5. Годовая экономия от использования усовершенствованных пневматических кормораздатчиков за счет снижения энергозатрат составляет 3100,5 сомони в год. Коэффициент экономической эффективности составляет 0,73. Срок окупаемости капитальных вложений не превышает 1,4 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа состояния вопроса сформулированы цель и задачи исследования. По результатам зоотехнического и технико-экономического исследования способов кормления овец установлено преимущества гранулированных кормов перед другими кормами, сформулированы основные требования к кормораздающим устройствам для овец, применительно к условиям Республики Таджикистан, а также обоснованы конструктивно – технологические схемы кормораздатчиков для овец. Дано обоснование конструктивно – технологических схем кормораздатчиков для овец [6-А, 8-А].

2. Рабочие процессы пневматических кормораздатчиков усовершенствованы за счет установки двухстворчатых откидных днищ и направляющих пластинок, установленных над перфорированной перегородкой с переменным шагом и наклоном в сторону перемещения гранулированного корма, а также предусмотрены перфорированные окна для фильтрации и пропускания воздуха, площади которых различны по длине кормораздатчика и увеличиваются по мере удаления от вентилятора (Малые патенты TJ № 1440, 1624, 1658), что способствуют снижению энергоемкости и неравномерности процесса раздачи корма[5-А, 9-А, 29-А].

3. Разработаны математические модели для оценки оптимальных конструктивно-технологических параметров пневматического кормораздатчика на основе установления взаимосвязи влияния давления воздуха, неравномерности распределения кормов и соотношения площадей поперечного сечения корможелоба и кормораздатчика на качество, энергоемкость и неравномерность раздачи кормов пневматическим кормораздатчиком [2-А, 4-А, 22-А].

4. На основе теоретических исследований и поисковых опытов разработана экспериментальная установка, которая позволила исследовать технологический процесс транспортирования и обоснования параметров пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам. Установлено, что оптимальные значения энергоемкости находятся в пределах

0,7 …1,1 кДж·ч/(т·м) и неравномерности раздачи гранулированных кормов по длине фронта кормления – 4,5…4,9 % при давлении вентилятора в пределах 1,8 … 2,0 кПа и соотношения площади корможелоба к площади кормораздатчика – 0,25 … 0,40 [3-А].

5. В результате производственных испытаний установлено, что применение усовершенствованного раздатчика гранулированных кормов овцам позволяет снизить энергоемкость раздачи более чем на 15%, неравномерность раздачи кормов до 10% и их крошимость на 5 … 6%. Сформулированы определения понятий эффекта и эффективности применительно к пневматической раздаче кормов. Разработана структурная схема факторов, влияющих на формирование эффективности функционирования пневматического раздатчика гранулированных кормов. Уточнена методика энергетической эффективности кормораздатчиков с учетом различной высотной поясности (зональности), на основе которой установлены пределы варьирования энергетической эффективности кормораздатчиков.

- для базового варианта кормораздатчика: для предгорных и равнинных условий применения – 0,48 … 0,50; для горных и высокогорных – 0,34 … 0,38;

- для совершенствованного кормораздатчика: для предгорных и равнинных условий применения – 0,52 … 0,56; для горных и высокогорных – 0,38 … 0,44. [13-А].

6. Годовая экономия от использования усовершенствованных пневматических кормораздатчиков за счет снижения энергозатрат составляет 3100,5 сомони в год. Коэффициент экономической эффективности составляет 0,73. Срок окупаемости капитальных вложений не превышает 1,4 года [12-А, 13-А].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применение результатов исследований по совершенствованию технологического процесса транспортирования и обоснованию параметров пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам, обеспечивающую повышение энергетической, зоотехнической и экономической эффективности путем оптимизации нагрузочных и скоростных и др. режимов процесса транспортирования кормов, способствует значительному сокращению затрат и повышению качества механизированных процессов раздачи кормов.

Оптимальные режимы функционирования пневматического раздатчика кормов достигается использованием результатов комплексного подхода, учитывающего наиболее значимые факторы из числа давления, создаваемого вентилятором, производительности шлюзового дозатора и соотношения площади сечений корможелоба и кормораздатчика, формирующие качество и эффективность раздачи кормов.

Предлагаемые подходы и методы исследований по оптимизации режимов работы пневматического раздатчика могут быть рекомендованы для раздачи гранулированных кормов с различными физико-механическими и аэродинамическими свойствами.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙЩЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Перспективы дальнейших исследований заключается в последующей разработке теоретических положений и экспериментальной базы по усовершенствованию технологического процесса пневматического транспортирования гранулированных кормов, а также по обоснованию и оптимизации параметров раздачи кормов с различными физико-механическими и аэродинамическими свойствами путем полной автоматизации функционирования пневматических кормораздатчиков, совершенствования их с целью повышения энергетической, зоотехнической, экономической и экодогической эффективностей, расширения номенклатуры используемого оборудования, унификации узлов, агрегатов и деталей кормораздающего устройства и т.д.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов, П.Н. Об использовании методики планирования эксперимента в соответствие с трехуровневыми планами Бокса-Бенкена/ П.Н. Анисимов// Вестник магистратуры. 2017. № 2-2(65). – С. 32-36.

2. Ахмадов, Б.Р. Анализ средств механизации для раздачи гранулированных кормов на овцеводческих фермах/ Б.Р. Ахмадов, А.А. Зарипов //№1 (81). Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур. -Душанбе, 2019. -С.100-103.

3. Ахмадов, Б.Р. Обоснование конструктивно-технологических параметров пневматического кормораздатчика / Б.Р. Ахмадов, А.А. Зарипов// №4 (80). Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур. -Душанбе, 2018. -С. 135 -138.

4. Байбульсинов, К.М. Механизация производственных процессов на овцеводческих комплексах. – Алма-Ата: Кайнар, 1977. – 182 с.

5. Бородюк, В.П. и др. Статистические методы в инженерных исследованиях: уч. пособие / В.П. Бородюк и др. – М.: Высшая школа, 1983. – 216 с.

6. Братерский, Ф.Д. Оценка качества сырья и комбикормов / Ф.Д. Братерский, А.Д. Пелевич. – М.: Колос, 1983. – 318 с.

7. Вайстих, Г.Я., Дарманяк, П.М. Гранулирование кормов / Г.Я. Вайстих, П.М. Дарманяк. -М.: Колос, 1988. –143 с.

8. Валге, А.М. Основы статистической обработки экспериментальных данных при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства с примерами на STATGRAPHICS и EXCEL/А.М. Валге, Н.И. Джабборов, В.А. Эвиев. – СПб; Элиста: Изд-во Калм. , 2015. – 140 с.

9. Вентцель, А.Д. Курс теории случайных процессов / А.Д. Вентцель. – Москва: Наука, 1975. – 320 с.

10. Воронкин, П.А. Повышение эффективности работы пневмотранспортной установки с помощью ультразвука/П.А. Воронкин, В.П. Тарасов// Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2010. – № 5-6. – С. 71-74.

11. Горячкин, В.П. Собрание сочинений/В.П. Горячкин. – М.: Колос, Т. 3. 1968. – 384 с.

12. ГОСТ 23728-88 – ГОСТ 23730-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Издательство стандартов. – 1988. – 25с.

13. ГОСТ 24055-80 – ГОСТ 24059-80 / Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технической оценки. – М.: Издательство стандартов. – 1980. – 39 с.

14. ГОСТ 26735-85. Раздатчики кормов. Общие технические требования. – М.: – 1986. – 15 с.

15. ГОСТ 31532- 2012. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2019. –12 с.

16. ГОСТ 34748 - 2021.Техника сельскохозяйственная. Раздатчики кормов. Методы испытаний. –М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 35 с.

17. ГОСТ 4401–81. Атмосфера стандартная. Параметры. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 179 с.

18. ГОСТ Р 51899-2002. Комбикорма гранулированные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 11с.

19. ГОСТ Р 52777-2007. – Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – Введ. 13.11.2007. – М.: Стандартинформ. –2008. –11 с.

20. ГОСТ Р 52869-2007 – «Пневмоприводы. Требования безопасности». – М.: Стандартинформ, 2008. –28 с.

21. ГОСТ Р 56743-2015 – «Измерение и верификация энергетической эффективности. Общие положения по определению экономии энергетических ресурсов» – М.: Стандартинформ, 2019. –39 с.

22. Гранулированные корма в кормлении овец [Электронный ресурс]. URL:ttps://studexpo.net/1090633/selskoe_hozyaystvo/granulirovannye_korma_kormlenii_ovets (дата обращения 19. 05. 2026).

23. Девяткин, А.И. Рациональное использование кормов в промышленном животноводстве. / А.И. Девяткин, Е.И. Ткаченко. - М.: Россельхозиздат, 1981. – 122с.

24. Джураева, У.Ш. Физиологические особенности и продуктивные качества овец, разводимых в условиях республики Таджикистан/ У.Ш. Джураева// автореферат дисс. доктора с/х наук, 2016. – 40 с.

25. Доброхотов, Г.Н. Краткий зоотехнический справочник. / Г. Н. Доброхотов.-М.: Колос, 1975. – 432 с.

26. Дорошев, Г.С. Пневматический кормораздатчик: авторское свидетельство СССР/Г.С. Дорошев, И.И. Красик, Ю.И. Головаченко// авторское свидетельство СССР № 907241. – Бюл. изобр., 1982, № 7. № 907241. – Бюл. изобр., 1982, № 7.

27. Доценко, С.М. Механико-технологические основы повышения эффективности процессов приготовления раздачи кормовых смесей животным: монография / С.М. Доценко. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 1995. – 155 с.

28. Животноводческие машины. Справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1975. –22 с.

29. Зарипов, А.А. Зоотехническая и технико-экономическая оценка способов кормления овец / Маҷмуи мақолаҳои илмӣ маводҳои конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи: «Рушди иноватсионии соҳаи кишоварзї дар шароити умумиҷаҳонии тағйирёбии иқлим: ҳолати кунунӣ, мушкилот ва роҳҳои ҳалли онҳо» ДАТ ба номи Ш.Шоҳтемур//А.А. Зарипов -Душанбе, 2020. - С. 280-283.

30. Зарипов, А.А. Классификация пневматических устройств для раздачи гранулированных кормов на овцеводческих фермах и комплексах / Сб. науч. Статей. Международная научно-практическая конференция «Наука и инновация в XXI веке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития» посвященная 70-летию факультета механизации сельского хозяйства ТАУ им. Ш.Шотемур// А.А.Зарипов. -Душанбе, 2017. - С.137-140.

31. Зарипов, А.А. Хӯроктақсимкунаки пневматикӣ/ Маҷмӯи мақолаҳои илмии конференсияи Ҷумҳуриявии илмӣ – амалии донишҷӯён дар мавзӯи «Нақши соҳаи кишоварзӣ дар таъмини амнияти ғизоии мамлакат»// А.А.Зарипов, Э.С. Амиров. – ш. Душанбе: ДАТ ба номи Ш.Шотҳемур. - Душанбе, 2020. – С. 97-99.

32. Зарипов, А.А. Методика исследования аэродинамических свойств гранулированных кормов/ А.А. Зарипов, И.Б. Ризоев //Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им.Ш. Шотемур. – 2019. – №4 (81). – С. 95-98.

33. Зарипов, А.А. Оптимизация рабочего процесса пневматического кормораздатчика гранулированных кормов/А.А. Зарипов / Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им.Ш.Шотемур. – 2022.– .№1 (93). – С.139-143.

34. Зарипов, А.А. Расчет конструктивных размеров корморазлающего устройства пневматического кормораздатчика / А.А. Зарипов, Н.Шамсиев, У.П. Исоев, С.С. Назаров// Сборник научных статей материалы научно-практической конференции на тему: «Биологическая безопасность: проблемы и пути ее решения» 4июня 2013 года 1 том. -Душанбе, 2013. – С.123-127.

35. Зарипов, А.А. Теоретическое обоснование параметров пневматического кормораздатчика /А.А. Зарипов // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им.Ш.Шотемур. – 2023.– №4 (101). – С.95-102.

36. Зарипов, А.А. Физико – механические свойства гранулированных и брикетированных кормов как основа разработки пневматических кормораздатчиков / А.А. Зарипов //Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им.Ш. Шотемур.– 2021. – №4 (93). – С.139-143.

37. Зарипов, А.А. Уравнение движения машинного агрегата пневматического кормораздатчика/ А.А. Зарипов, Н. Шамсиев, С.С. Назаров, Т.Н. Гулов// Международная научно-практическая «Эффективное использование биоклиматических факторов в выращивании

сельскохозяйственных растений на пахотных землях». – Душанбе, 2012. - С.125-129.

38. Извеков, Е.А. Оценка качества работы раздатчиков кормов / Е.А. Извеков, В.В. Воронин // Сельский механизатор. – 2016. – № 2. – С. 24–26.

39. Карибаев, К.К. Рациональное использование кормов в животноводстве /К.К. Карибаев]. — Ташкент: УзНИИЖ, 1989. — 103 с.

40. Карпов, В.П. Оценка эффективности кормораздатчика МИР-10 в сравнении с уровнем зарубежных конструкций / В.П. Карпов, С.А. Жуков//Вестник ВНИИМЖ. – 2017. – № 4(28). – С. 145-148.

41. Карпов, В.П. Энергетические затраты при раздаче кормов кормораздатчиком МИР-10 / В.П. Карпов, Н.В. Повалихин // Вестник ВНИИМЖ. 2015. – № 3(19). – С. 139-142.

42. Квитко, Ю.Д., Интенсивный откорм овец с использованием кормов промышленного приготовления/ Ю.Д. Квитко, А.З. Гребенюк //Интенсификация производства продукции овцеводства: Сб. науч. тр. ВНИИОК. –1986. - С.34-40.

43. Кеммер А.С. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях. -М.: Колос, 1967. – 295 с.

44. Китун, А.В. Энергосберегающие технологии приготовления полнорационных кормосмесей животным мобильными раздатчиками/ А.В. Китун, А.А. Романович. – Минск: БГАТУ, 2022. – 164 с.

45. Коба, В.Г. Разработка и исследование конструкций кормораздающих устройств. / В.Г. Коба// Мех. работ в животноводстве. Сб. научн. работ Сарат. сел. хоз. ин-та, Саратов, 1973, вып. 20, с. 26-31.

46. Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.Б. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. – М.:Колос, 1999. – 528 с.

47. Коба, В. Г. Машины для раздачи кормов. Теория и расчет / В.Г. Коба. – Саратов: Изд-во Саратовского СХИ, 1974. – 140 с.

48. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников /А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

49. Конаков, А. П. Механизация раздачи кормов/А. П. Конаков, Ю. Н. Юдаев, Р. Б. Козин. – М.: Агропромиздат, 1989, – 175 с.

50. Кормановский, Л.П. Механико-технологические основы точных технологий приготовления и раздачи кормосмесей крупному рогатому скоту многофункциональными агрегатами / Л.П. Кормановский, Тищенко М.А. –М.: Россельхозакадемия, 2002. – 344 с.

51. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров): пер. с англ. / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.

52. Красик, И.И., Головаченко Ю.И. Авторское свидетельство СССР № 907241. – Бюл. изобр., 1982, № 7.- 4с.

53. Кузьмина Т.Н. Технические разработки для механизации овцеводства/Т.Н. Кузьмина, В.Н. Кузьмин// Техника и технологии в животноводстве №2(42). – с.53-58.

54. Курков, Ю.Б. Методика оценки эффективности технологий производства и раздачи кормов/Ю.Б. Курков, Т.А. Краснощекова, А.В. Якименко, С.А. Иванов, Н.К. Власенко//Дальневосточный аграрный вестник. – 2017.– №4(44). – С. 169-174.

55. Курков, Ю.Б. Повышение эффективности процессов приготовления и раздачи высокобелковых полнорационных кормовых смесей крупному рогатому скоту: монография / Ю.Б. Курков. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2005. – 172 с.

56. Ладан, П.Е. Полнорационный корм в гранулах/ П.Е. Ладан, М.И. Густун. - М.: Колос, 1974. -159 с.

57. Лапач, С.Н. Основные проблемы построения регрессионных моделей/С.Н. Лапач, С.Г. Радченко// ISSN 1028-9763. Математичні машини і системи, 2012, № 4. – С.125-133.

58. Лотоцкий, А.Е. Машины и оборудование для обработки грубых кормов: обзорная информация/А.Е. Лотоцкий. – М.: Агро НИИТЭИИТО,1990.– 52 с.

59. Макшанцев, Ю.А. Классификация платформенных устройств стационарного типа для раздачи кормов животным/ Ю.А. Макшанцев, В.Г. Коба// Сборник научных трудов «Механизации работ в животноводстве». - Саратов: Саратовский СХИ, 1975.

60. Макшанцев, Ю.А. Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала/Ю.А. Макшанцев, Амельянц А.Г.// А.с. SU № 615 353 А1. Бюлд. №26. Опубл. 26.07.1978. – 2с.

61. Малис, А.Я. Пневматический транспорт для сыпучих материалов / А.Я. Малис, М. Г. Касторных. - Москва: Агропромиздат, 1985. - 344 с.

62. Масиев, Р.Х. Кормораздатчик/Р.Х. Масиев, Н.Шамсиев// А.с. СССР № 1123606. Бюлл. изобр. № 42.

63. Масиев, Р.Х. Механизация приготовления и раздачи кормов в животноводстве Таджикистана. Обзор. Таджик. ИНТИ. -Душанбе, 1979.

64. Медведев, Б.И. Определение режима движения воздуха в вентиляционных трубопроводах/Б.И. Медведев//Доклад на симпозиуме «Неделя горняка-99». – М.: МГТУ, 2000. – 5 с.

65. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.

66. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях с/х процессов/С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: «Колос».– 1972 г. – 168 с.

67. Мельников, С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов/ С.В. Мельников. – Л.: «Колос».– 1985 г. – 640 с.

68. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / Под ред. А.В. Шпилько. – М.: И.К. "Родник", Т.Л. "Аграрная наука", 1998. – 220 с.

69. Методы исследований сельскохозяйственных машин и оборудования: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве / Сост.: Спевак В.Я. // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 49 с.

70. Механизация приготовления кормов. Справочник / Под общ. ред. В.И. Сыроватка. – М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.

71. Миняев, В.В. Расчет параметров атмосферы с учетом влажности воздуха/ В. В. Миняев// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Естественные науки". –2004. –№ 2. – С. 116-120.

72. Миончинский, П.Н. Производство комбикормов / П.Н. Миончинский, Л.С. Кожарова. – М.: Агропромиздат, 1991. – 228 с.

73. Мирзоянц, Ю.А. Направления модернизации технической базы овцеводческих ферм и комплексов /Ю.А. Мирзоянц, В.Е. Фириченков// Вестник ВНИИМЖ. – №2(30). – 2018.–С. 45-52.

74. Мирзоянц, Ю.А. Инновационные направления развития техники для механизации и автоматизации процессов овцеводства и экономическая эффективность их применения/ Ю.А. Мирзоянц// Вестник ВНИИМЖ. – №2(26). – 2017.–С. 118-128.

75. Морозов, Н.М. Стратегия развития механизации и автоматизации овцеводства/ Н.М. Морозов, Ю.А. Мирзоянц, В.Е. Фириченков// Вестник ВНИИМЖ. - 2015. - №2(18). – С. 34-40.

76. Московский, М.Н. Проектирование и расчет рабочих органов машин для переработки продукции АПК: учебное пособие/ М.Н. Московский. – Ростов на дону, 2013. – 147 с.

77. Овцеводство и козоводство: Справочник/ У.Х. Арипов, В.М. Виноградова, П.А. Воробьев и др. – М.: Агропромиздат, 1990.–335 с.: ил. ISBN 5– 10–000688–9.

78. Омельченко, А.А. Цепной раздатчик кормов/А.А. Омельченко// Механизация и электрификация с/х. – 1973. – №12. – С.44-46.

79. Орлов, А.И. Организационно-экономическое моделирование: в 3 ч/ А.И. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. Ч. 2: Экспертные оценки, 2011. – 486 с.

80. Особов, В.И. Механическая технология кормов / В.И. Особов. – М.: Колос, 2009. – 304 с.

81. ОСТ 70.191 – 74. Раздатчики кормов. Программа и методы испытаний / Госкомсельхозтехника СССР. – М.: ЦНИИТЭИ, 1975. – 43 с.

82. ОСТ 70.32.2 – 83. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методы испытаний. – М.: 1984. – 94 с.

83. Панфилов, В.А. Теория технологического потока/В.А. Панфилов. – М.: Колос С, 2007. – 319 с.

84. Патент RUS 2133142. Устройство для смешивания сыпучих кормов / И.Я. Федоренко, В.И. Лобанов, В.А. Демин, В.П. Карманов; опубл.20.07.1999.

85. Пат. RUS 2338584. Устройство для смешивания сыпучих материалов / И.Я. Федоренко, С.Н. Васильев, Д.Н. Пирожков, А.И. Сечевой: опубл. 29.01.2007.

86. Патент США №3494331, кл. 119-51. 11, 1970.

87. Патент RUS 2759730. Способ испытания кормораздатчика на точность дозирования/А.П. Петров, С.В. Ларкин: опубл.17.11.2021.

88. Устройство для смешивания сыпучих кормов / Федоренко И.Я., Лобанов В.И., Демин В.А., Карманов В.П.; опубл.20.07.1999.

89. Преображенский, П.А., Кудзиев Э.П. Оптимизация параметров спиральных транспортёров/П.А. Преображенский, Э.П. Кудзиев // Механизация и электрификация с/х. – 1973. – № 11. – С.13-14.

90. Программа развития агропродовольственной системы и устойчивого сельского хозяйства на период до 2030 года (от 1 марта 2023 года № 54). – г. Душанбе, 2023. – 22 с.

91. Протокол №7/6 объединенного заседания секции механизации и электрификации работ в свиноводстве и овцеводстве научно-технического

совета в/о «Союз сельхозтехника». Секции механизации и электрификации с/х научно-технического совета Министерства сельского хозяйства, 1972. – 26 с.

92. Прушков, Н.Д. Определение длины линии кормления овец при свободном доступе к гранулам /Н.Д. Прушков// «Механизация и электрификация с/х» – 1978. – №4. – 4с.

93. Радченко, С.Г. Многофакторные планы экспериментов для совместного проведения оптимизации и моделирования/ С.Г. Радченко// ISSN 1028-9763. Математичні машини і системи, 2013, № 3. – С.124-130.

94. Резник, Е.И. Совершенствование технологических процессов и технических средств заготовки, приготовления и раздачи кормов на фермах КРС/ Е.И. Резник/Автореф. дисс. на соискание д.т.н. – М.,2003. – 60 с.

95. Ризкин, И.Х. Машинный анализ и проектирование технических систем / И.Х. Ризкин. – М.: Наука, 1985. – 160 с.

96. РТМ 44-62. Методика статистической обработки эмпирических данных. – ВНИМАШ, 1966. – 100 с.

97. Самойлова, Н.В. Методика энергоэкономической оценки сельскохозяйственного производства через энергетические эквиваленты стоимости продукции отраслейрунов/Н.В. Самойлова// Известия ТСХА, выпуск 6, 2013 год. С. 94-101.

98. Сборник зоотехнических требований на комплекты машин и оборудование для комплексной электромеханизации животноводческих и птицеводческих ферм. Выпуск IV. -М.: ВИЭСХ,1973. – 92с.

99. Сенькина, Т. А. Разработка сухих гранулированных кормов для домашних животных с использованием вторичного сырья птицеперерабатывающей промышленности/ Т. А. Сенькина// Автореф. дисс. на соискание к.т.н. – М.,2009. – 24 с.

100. Серезенко, Б.Н. Механизация производственных процессов в животноводстве зарубежных стран/Б.Н. Серезенко, -Киев, 1971.– 26 с.

101. Смурыгин, М.А. Справочник по кормопроизводству / М.А. Смурыгин, В.Г. Игловиков, В.А. Тащилин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 413 с.

102. Сыроватка, В.И. Механизация приготовления кормов: справочник. / В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 386 с.

103. Тарасов, Л.И. Исследование скреперно–платформенного кормораздатчика для свинооткормочных ферм/Л.И. Тарасов// Автореферат дис. на соиск. к.т.н. - Омск, 1973. -26с.

104. Тилоев, С. Математическая модель пневматического транспортера для раздачи гранулированных кормов / С.Тилоев, Н.Шамсиев, А.А.Зарипов // Молодежь и современная наука. -Душанбе, 2011. – С.127-131.

105. Ульянов, А.Н. Интенсивная тенология овцеводства//А.Н. Ульянов, А.Я. Куликова.-Краснодар, 2012, – 87 с.

106. Умирзоков**,** А.М. Пневматический кормораздатчик / А.М. Умирзоков, А.А. Зарипов // Малый патент РТ № TJ 1624. Бюл.221, 2025.

107. Умирзоков А.М. Экономическая эффективность применения пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам/ А.М.Умирзоков. А.А. Зарипов//Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им.Ш. Шотемур.– 2025. – №3 (108). – С. 114-117.

108. Умирзоков А.М. Оценка эффективности пневматической раздачи гранулированных кормов/ А.М.Умирзоков. А.А. Зарипов // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им.Ш. Шотемур.– 2025. – №3 (108). – С. 122-127.

109. Умирзоков**,** А.М. Пневматический кормораздатчик / А.М. Умирзоков, А.А. Зарипов Б.Г. Рахимов// Малый патент РТ № TJ 1658, 2025.

110. Федоренко, И.Я. Использование модели Лоренца для описания процесса смешивания сыпучих кормовых материалов/ И.Я. Федоренко, Д.Н. Пирожков, Р.А. Котов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 9 (83). – С. 81-85.

111. Федоренко, И.Я. Оптимизация и принятие решений в агроинженерных задачах / И.Я. Федоренко, С.В. Морозова. – СПб.: Лань, 2016. – 288 с.

112. Федоренко, И.Я. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве: учебное пособие с грифом УМО /И.Я. Федоренко, В.В. Садов. – СПб.: Изд-во Лань, 2012. – 304 с.

113. Федоренко, И.Я. Техника и технологии в животноводстве. Часть 1. Механизация приготовления и раздачи кормов: учебное пособие / И.Я. Федоренко, В.В. Садов. – Барнаул: РИО АГАУ, 2014. – 207 с.

114. Фролов, В.Ю. Ресурсосберегающие технологии приготовления и раздачи кормов на животноводческих фермах малых форм хозяйствования / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, Н.Ю. Сарбатова и др. // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 3 (189). – С. 15-19.

115. Фролов, В.Ю., Классификация технических средств для приготовления и раздачи кормовых смесей на малых фермах КРС/ В.Ю. Фролов, И.Е. Припоров, Д.П. Сысоев // Научный журнал КубГАУ. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – № 114(10). – С.510-522.

116. Хильберто, П. Р. Использование гранулированных кормов с высоким содержанием соломы при доращивании и откорме бычков-кастратов (06.02.04— частная зоотехния) Автореферат на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук.– Москва – 1977.– 24 с.

117. Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений/И.Г. Черноруцкий. – СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

118. Чернышев, Н.И. Компоненты премиксов / Н.И. Чернышев, И.Г. Панин. – Старый Оскол, 2002. – 300 с.

119. Чиченов, В.П. Исследование и разработка систем пневматической транспортировки кормосмесей на животноводческих фермах. Автореферат дис. на соиск. уч. степени к.т.н. -М.: 1979. - 24с.

120. Шамсиев, Н. Исследование динамики пневматического кормораздатчика / Н.Шамсиев, С.Тилоев //«Кишоварз» ТАУ.- 2011. – №3 (51) .– С.76-80.

121. Шамсиев, Н. Классификация и анализ средств механизации для раздачи гранулированных кормов на овцеводческих фермах и комплексах. Маводҳои конфренсияи байналмиллалии илмӣ-дар мавзӯи «Маърифати касбӣ ва фарҳанги техникӣ-омили неруӯмандии мутахассис» бахшида ба соли 2010 «Соли маориф ва фарҳанги техникӣ» / Н. Шамсиев, А.А. Зарипов. -Душанбе: ДАТ ба номи Ш. Шоҳтемур., 2010. – С.103-108.

122. Шамсиев, Н. Обоснование конструктивно-технологических схем кормораздатчика для овец/ Н. Шамсиев, А.А. Зарипов// Сборник трудов. Труды ТАУ. - Душанбе, 2003. – С. 52-55.

123. Шамсиев, Н. Оценка работы и использование различных типов машин для раздачи кормов в животноводческих фермах. / Н. Шамсиев, А.А. Зарипов// Сборник трудов. Труды ТСХИ. - Душанбе, 1996. – С. 92-95.

124. Шамсиев, Н. Пеневматический кормораздатчик/ Н. Шамсиев, А.А. Гафаров, А.А. Зарипов, Ш.И. Мирзоев, С.С. Назаров, Б.Б. Ходжиев, Т.Н. Гулов//Малый патент № TJ1440.2023г.

125. Шамсиев, Н. Уравнения движения пневматического транспортера для раздачи гранулированных кормов/ Н.Шамсиев, С.Тилоев, З.В.Кобули, А.А.Зарипов //. ТТУ им. акад. М.С.Осимӣ. - Душанбе, 2011. – С.62-65.

126. Шаршунов, В.А. Технологическое оборудование предприятий / В.А. Шаршунов и др. – Минск: Мисанта, 2014. – 815 с.

127. Behnke, K.C. Presentation. Effect of Particle Size on Mixing Efficiency. Iowa Pork Congress 2005.

128. Boumans, G. Grain Handling and Storage Text. Amsterdam; Oxford; New-York; Tokyo, 1985.

129. Buckley D.J., Lynch P.B., Kelly M., O'Connell J.M. An automated device for controlled feeding of sheep in cages or pens. – Irish Journal of Agricultural Research, 1985, Vol. 24, No. 2, pp. 185–195.

130. CN203860207U. Automatic sheep feeding machine / Zhang Z. – Publ. 2014. – URL: https://patents.google.com/patent/CN203860207U (дата обращения: 02.07.2025).

131. CN209420630U. Sheep automatic feeding equipment / Liu J. – Publ. 2019. – URL: https://patents.google.com/patent/CN209420630U (дата обращения: 02.07.2025).

132. Flachowsky, G. Efficient feed use in beef cattle feeding. [Text] / G.Flachowsky //Tierzucht. 1986. №12. s. 533-536.

133. Garcia, A. Validation of an automated feeding system for measuring individual animal feed intake in sheep housed in groups/ A. Garcia, J. Lachica, F. Martinez-Pastor et al.. – Animal, 2020, Vol. 14(11), pp. 2348–2356. DOI: 10.1017/S1751731120000938

134. US 20070181069 A1. Automatic livestock feeder / A. Bollum. – Publ. 2007. – URL: https://patents.google.com/patent/US20070181069A1 (дата обращения: 02.07.2025).

135. US 6182606 B1. Automated livestock feeder / D. Nelson. – Publ. 2001. – URL: https://patents.google.com/patent/US6182606B1 (дата обращения: 02.07.2025).

Публикации по теме диссертации

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан

[1-А]. Зарипов, А.А. *Аэродинамические свойства гранулированных кормов, как основной фактор технологического процесса пневматической кормораздачи/**А.А.*** **Зарипов** // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур. - 2024. - № 4 (105). - С. 102-105.

[2-А]. Зарипов, А.А Теоретическое обоснование параметров пневматического кормораздатчика/**А.А. Зарипов**// Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур. - 2023. - № 4 (101). - С. 95-102.

[3-А]. Зарипов, А.А. Оптимизация рабочего процесса пневматического кормораздатчика гранулированных кормов/**А.А. Зарипов**// Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур - 2022. - №1 (93). - С. 139-143.

[4-А]. Зарипов, А.А. Уравнения движения гранул в пневматическом транспортёре кормораздатчика/ **А.А. Зарипов**, А.А. Гафаров, - Н. Шамсиев //Вестник Технологического университета Таджикистана. - 2023 - № 3 (54). - С. 34-37.

[5-А]. Зарипов, А.А. Обоснование траектории движения частиц гранул при пневмотранспортировке/А.А. Гафаров. **А.А. Зарипов**// Вестник Технологического университета Таджикистана. - 2022. - № 4/1 (51). –С.15-19.

[6-А]. Зарипов, А.А. Физико – механические свойства гранулированных и брикетированных кормов как основа разработки пневматических кормораздатчиков/**А.А. Зарипов**//Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур - 2021.- № 4(93). - С.139-143.

[7-А]. Зарипов, А.А. Методика исследования аэродинамических свойств гранулированных кормов/**А.А.Зарипов**, И.Б. Ризоев. //Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур. - 2019. - № 4(81). - С. 95-98.

[8-А]. Зарипов, А.А. Анализ средств механизации для раздачи гранулированных кормов на овцеводческих фермах/Б.Р. Аҳмадов. **А.А. Зарипов** //Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур. - 2019. - № 1 (81). - С. 100-103.

[9-А]. Зарипов, А.А. Обоснование конструктивно – технологических параметров пневматического кормораздатчика/Б.Р. Аҳмадов, **А.А. Зарипов** //Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шириншох Шотемур. - 2018. - № 4 (80). - С. 135 -138.

[10-А]. Зарипов, А.А. Исследование динамики пневматического кормораздатчика/ **А.А. Зарипов**, С.Тилоев, Н.Шамсиев //Теоретический и

научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш.Шотемур. - 2011. - № 3 (51). - С. 26-28.

[11-А]. Зарипов, А.А. О расчете надежности систем автоматики / **А.А. Зарипов**, З.Юлдашев //Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур. - 2023. - № 3 (100). - С. 113-119.

[12-А]. Зарипов, А.А. Экономическая эффективность применения пневматического аппарата для раздачи гранулированных кормов овцам/ А.М. Умирзоков, **А.А. Зарипов**//Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш. Шотемур. -2025. - № 3 (108). - С. 114-117.

[13-А]. Зарипов, А.А. Оценка эффективности пневматической раздачи гранулированных кормов / А.М. Умирзоков, **А.А. Зарипов**//Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» ТАУ им. Ш.Шотемур. -2025. -№ 3 (108). - С.122-127.

Научные статьи в материалах научных конференций

[14-А]. Зарипов, А.А. К вопросу о потери давления на отдельных участках установки для раздачи кормов/**А.А. Зарипов**, А.А. Гафаров// Устойчивое развитие национальной промышленности на основе реализации «Двадцатилетия изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования» Технологического университета Таджикистана, 2023.-С 16-19.

[15-А]. Зарипов, А.А. Баланд бардоштани маҳсулнокии чорво бо такмилдиҳии олоти кории дастгоҳ барои тақсим кардани хӯроки чорво/ **А.А. Зарипов**, И.Т. Ҳаитов //Маҷмуи фишурдаи маводҳои мизи мудаввар дар мавзуи «Технологияҳои иноватсионӣ дар рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илми механикони кишоварзӣ» бахшида ба 30-солагии иҷлосияи 16-Шурои олии таърихии тақдирсоз. ДАТ ба номи Ш. Шоҳтемур, 2022. С.24-26.

[16-А]. Зарипов, А.А. *Совершенствование технологического процесса раздачи кормов* / **А.А.Зарипов**, И. Далер // Сборник научных статей. Материалы Республиканской научно-практической конференции на тему:

«Адаптация сельскохозяйственной отрасли к изменениям климата: проблемы и пути решения», посвященной 30-летию Государственной независимости Республики Таджикистан и 90-летию со дня основания Таджикского аграрного университета имени с Роль инженерной науки в сельскохозяйственном производстве: актуальные проблемы и развитие отрасли». ТАУ им. Ш. Шотемур, 2021. - С. 58-59.

[17-А]. Зарипов, А.А. *Зоотехническая и технико – экономическая оценка способов кормления овец / **А.А.*** **Зарипов** // Сборник научных статей. Матеиалы Республиканской научно-практической конференции на тему: «Роль инженерной науки в сельскохозяйственном производстве: актуальные проблемы и развитие отрасли». ТАУ им. Ш. Шотемур, 2020.- С. 280-283.

[18-А]. Зарипов, А.А. Хӯроктақсимкунаки пневматикӣ/ **А.А. Зарипов**, Н.Р. Амиров // Сборник научных статей. Матеиалы Республиканской научно-практической конференции на тему: «Роль инженерной науки в сельскохозяйственном производстве: актуальные проблемы и развитие отрасли». ТАУ им. Ш. Шотемур, 2020. - С. 97-99.

[19-А]. Зарипов, А.А. Классификация пневматических устройств для раздачи гранулированных кормов на овцеводческих фермах и комплексах / **А.А. Зарипов** // Сборник научных статей. Международная научно-практическая конференция «Наука и инновация в XXI веке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития», посвященная 70-и летию факультета механизации сельского хозяйства ТАУ им. Ш. Шотемур, 2017. - С. 137-140.

[20-А]. Зарипов, А.А. Расчет конструктивных размеров кормораздающего устройства пневматического корморазлатчика/ **А.А. Зарипов** //Сборник научных статей. Материалы научно-практической конференции на тему: «Биологическая безопасность: проблемы и пути ее решения». ТАУ им. Ш. Шотемур. - Том 1. - 2013. - С. 123-127.

[21-А]. Зарипов, А.А. Уравнение движение машинного агрегата пневматического корморазлатчика/**А.А.Зарипов**, Н.Шамсиев, С.С. Назаров,

Т.Н. Гулов. // Международная научно-практическая конференция «Эффективное использование биоклиматических факторов в возделывании сельскохозяйственных культур в пахотных землях». ТАУ им. Ш. Шотемур, 2012. - С. 125-129.

[22-А]. Зарипов, А.А. Маематическая модель пневматического транспортера для раздачи гранулированных кормов/ **А.А. Зарипов**, Н. Шамсиев, С. Тиллоев // Ҷавонон ва илми муосир, 2011. - С. 127-131.

[23-А]. Зарипов, А.А. Уравнение движеним пневматического транспорта для раздачи гранулированных кормов/Н. Шамсиев, С.Тилоев, **А.А. Зарипов** //ТТУ им. акад. М.С. Осими. - 2011. - С. 62-65.

[24-А]. Зарипов, А.А. Классификация и анализ средств механизации для раздачи гранулированных кормов на овцеводческих фермах и комплексах. Н. Шамсиев, **А.А. Зарипов** // Материалы международной научной конференции на тему: «Профессиональное образование и техническая культура-фактор потенциала специалиста», посвященная 2010 - год образования и технической культуры. ТАУ им. Ш. Шотемур, 2010. - С. 103-110.

[25-А]. Зарипов, А.А. Н. Обоснование конструктивно-технологических схем кормораздатчика для овец/Н. Шамсиев. **А.А. Зарипов**// Сборник трудов. Труды ТАУ им. Ш. Шотемур, 2003. - С. 52-55.

[26-А]. Зарипов, А.А. Оценка работы и использование различных типов машин для раздачи кормов в животноводческих фермах / Н. Шамсиев, **А.А. Зарипов** // Сборник трудов. Труды ТСХИ, 1996. - С. 92-95.

Авторские свидетельства и патенты

[27-А]. Зарипов, А.А. Пневматический кормораздатчик / Н. Шамсиев, А.А.Гафаров, **А.А. Зарипов**, Ш.И. Мирзоев, С.С.Назаров, Б.Б. Ходжиев, Т.Н. Гулов //Малый патент РТ. № TJ 1440. Бюл.201, 2023.

[28-А]. Зарипов, А.А. Пневматический кормораздатчик / А.М. Умирзоков, **А.А. Зарипов** // Малый патент РТ. № TJ 1624. Бюл.221, 2025.

[29-А]. Зарипов, А.А. Пневматический кормораздатчик / А.М. Умирзоков, **А.А. Зарипов**, Б.Г. Рахимов// Малый патент РТ. № TJ 1658. 2025.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Утверждаю:
Директор ООО
им. Л. Муродова г. Гиссара
Солиев Бахридин Тоҷиддинович
«__» _____ 2023 г.

А К Т

испытания и внедрения стационарного пневматического раздатчика гранулированных кормов для овец на ферме ООО имени Л.Муродова города Гиссара Республики Таджикистан

Комиссия в составе: начальника Центра технического обслуживания Республиканского государственного унитарного предприятия «Таджикагролизинг» в городе Гиссар Фозилова Т.Н., главного инженера общества с ограниченной ответственностью Бобокалонова З.Н., главного зоотехника Нарзуллозода Д.Г., заведующего фермой Ашурова А.И. и автора Зарипова А.А. провели производственные испытания пневматического раздатчика гранулированных кормов для овец.

Техническая документация кормораздатчика разработана проектно–конструкторским технологическим институтом «Таджиксельхозпроект» на основании Малого патента на изобретение № TJ 1440, а также результатов исследований Зарипова А.А. экспериментального образца аппарата.

Кормораздающее устройство состоит из вентилятора высокого давления, приемного устройства гранул, разгонного участка, кормопровода и участка отсоса отработанного воздуха.

Кормораздатчик состоит из горизонтального кормового желоба с откидным днищем, желоба для удаления отработанного воздуха, размещенного над кормовым желобом и перфорированной перегородки, установленной между названными желобами.

Особенностью кормораздающего устройства заключается в том, что перфорированная перегородка устанавливается на определенную высоту над днищем корможелоба, согласно требуемой нормы выдаваемого корма. Бункер – накопитель, установленный над шлюзовым дозатором, заполняется гранулированными кормами. Подаваемый шлюзовым дозатором корм воздушным потоком, создаваемым вентилятором, направляется в кормораздатчик. Транспортируемый воздушным потоком корм осаждается в корможелобе и постепенно его заполняет. Отработанный воздух, разделенный от корма фильтрующим элементом,

обратно направляется во всасывающий патрубок вентилятора. При открытии днища корм высыпается в кормушки, расположенные под кормораздатчиком, что способствует повышению эффективности раздачи кормов.

В процессе испытания наблюдались следующие показатели работы машины:

Подача т/ч 1,5
Длина фронта кормления, м. 18
Давление вентилятора, Па.....1900
Вид корма гранулированный, мм х мм.....10х22
Неравномерность раздачи корма, %.....до 5%
Возвратимые потери корма, %.....0.5
Мощность электродвигателя, кВт.....7,5
Габаритные размеры, м.
Общая длина.....26
Высота 0,7
Ширина 1,2

В результате испытания установлены:

- кормораздатчик достаточно производительна, удобна в эксплуатации и занимает малую производственную площадь;
- в различных режимах технологический процесс выполнялся устойчиво, конструкция надежна в эксплуатации;
- обладает низкой малоэнергоемкостью, прост в эксплуатации и отвечает требованиям технического задания;
- пневматический кормораздатчик равномерно производит раздачи кормов ниже нормативных (5%).

Комиссия считает, кормораздатчик соответствует зоотехническим требованиям и может служить основой для разработки промышленного образца.

МАРКАЗИ КИЗМАТРАСОНИ ТЕХНИКИ ЦЕНТР ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Фозилов Т.Н.
Бобокалонов З.Н.
Парзуллозода Д.Г.
Ашуров А.И.
Зарипов А.А.

Санад

доир ба татбиқи натиҷаҳои корҳои илмию тадқиқотӣ ва ихтироотӣ

1. Номгуйи ихтироот: «Хӯроктақсимкунаки пневматикӣ».

2. Ихтироъкунанда (ихтироъкунандагон): Зарипов А.

3. Дорандаи патент: ДАТ ба номи Ш.Шохтемур. № ариза: 2301809 16.03.2023

4. Кай ва ки ба истеҳсолот тавсия додаст: Шурои олимони факултети механиконии ДАТ ба номи Ш.Шохтемур. протоколи №10 аз 25.05.2023.

5. Макони татбиқ: Хоҷагии «Зироаткор»-и ш. Ҳисор.

6. Самаранокии иқтисодӣ нисбати ҳаммонанд: 1205,3 сомонӣ/сол.

7. Хулоса аз натиҷаи татбиқ: Фаъолияти хӯроктақсимкунаки пневматикӣ технологияи инноватсионӣ буда, дар натиҷаи гузаронидани тахкикотҳои назариявӣ ва таҷрибавӣ дастовард шудааст. Технологияи пешбинишударо – яъне додани хӯрокаи гранулшударо барои чорво мувофиқи талаботхои технологӣ ва зоотехникии пешбинишуда ичро менамояд. Аз ҷумла:

-маҳсулнокии - 1,5 тонна/соат;

-дарозии майдони хӯрокдиҳи - 18 м;

-фишори миқдори ҳаво – 1900 Па;

-зичии хӯроки чорво - аз 9 то 14 кг дар метри тӯлонӣ танзим мешавад;

-андозаи мошинолот, метр: дарозӣ/бар/баландӣ – 26/0,7/1,2.

Сохти конструктивии мошинолот боэътимод буда, бехатарии фаъолияти кормандон ва саломатии чорвои хӯронидашавандаро таъмин менамояд.

Директори хоҷагии «Зироаткор»-и ш. Ҳисор Р. Сафаров

«Утверждаю»
Проректор по науке и
инновациям Таджикского
аграрного университета
имени Шириншо Шотемур
_____Мирзоализода Т.М.
«___»_____20__ г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители Таджикского аграрного университета имени Ш.Шотемур к.с-х.н. начальник Управления науки и инновации Акрамов У.Х., директор учебно - производственного хозяйства Латипов Т.Ш., заведующий кафедрой «Машины и оборудование технологических процессов в агроинженерии к.т.н., доц. Хочиев Б.Б. составили настоящий акт производственных испытаний экспериментального шевматического раздатчика гранулированных кормов для овец в условиях Гиссарского района.

Кормораздатчик разработанный авторским коллективом, в том числе Зариповым А.А., состоит из расположенного над кормушкой горизонтального кормового желоба с откидным днищем, желоба для удаления отработанного воздуха размещенного над кормовым желобом и перфорированной перегородки, установленной между названными желобами с возможностью перемещения в вертикальной плоскости.

Конструкция перфорированной перегородки (фильтра) состоит из металлической сетки натянутой между деревянными рейками и установленными над сеткой под углом по направлению потока воздуха направляющих пластин.

При испытании выявлены следующие технические данные шевматической установки:

ТИП .....стационарный
Производительность, т/час 1,5
Длина фронта кормления, м 18,0
Установленная мощность, кВт 9,7
Давление воздушного потока вентилятора. Па 1900
Вид корма .....гранулированный
Раздача корма, кг/пог. м .....от 9 до 14
Количества обслуживаемых животных 200
Равномерность раздачи корма, % 2,0

Габаритные размеры, м

Общая длина 26

Высота 0,7

Ширина 1,2

Рассмотрев работу стационарного шнекматичеекого кормораздатчика комиссия решила:

1. Кормораздатчик соответствует зоотехническим требованиям для кормления овец.

2. Рекомендовать использования результатов исследования в учебном процессе по специальностям 740601 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства», и 740602 – «Техническое обеспечение механических процессов и переработки сельскохозяйственных продуктов».

Подписи:

Акрамов У.Х.

Латипов Т.Ш.

Хочиев Ь.Б.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

ИДОРАИ ПАТЕНТӢ

НАХУСТПАТЕНТ

№ TJ 1440

БА ИХТИРОИ

Хуроктаксимкунаки пневматикӣ

Дорандаи нахустпатент Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш.Шотемур

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Шаменев Н., Гафаров А.Л., Зарипов А.А., Мирзоев Ш.И., Назаров Ё.С., Хочиев Б.Б., Гулов Т.Н.

Аввалияти ихтироъ 16.03.2023

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 16.03.2023

Аризаи № 2301809

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон 17 ноябри с. 2023 **ба қайд гирифта шуд**

Нахустпатенти эътибор дорад аз 16 марти с. 2023 **то** 16 марти с. 2033

ДИРЕКТОР Исмоилзода М.

ЧУМХУРИИ ТОЧИКИСТОН

ИДОРАИ ПАТЕНТИ

НАХУСТПАТЕНТ

№ TJ 1624

БА ИХТИРОИ

Хӯроктаксимкушаки пневматикӣ

Дорандаи нахустпатент: Умирзоков Ахмад Маллабоевич, Зарипов Асрор Азизович

Сарзамин: Чумхурии Точикистон

Муаллиф(он): Умирзоков Ахмад Маллабоевич, Зарипов Асрор Азизович

Аввалияти ихтироъ 31.01.2025

Таърихи ворид шудани ариза 31.01.2025

Аризаи № 2502047

Дар Феҳристи давлатии ихтироъхои

Чумхурии Точикистон 25 июли с. 2025 ба кайд гирифта шуд

Нахустпатент эътибор дорад аз 31 январи с. 2025 то 31 январи с. 2035

ДИРЕКТОР Исмоилзода М.Ҳ.

ЧУМХУРИИ ТОЧИКИСТОН

ИДОРАИ ПАТЕНТӢ

НАХУСТПАТЕНТ

№ TJ 1658

БА ИХТИРОИ

Хӯроктаксимкунаки пневматикӣ

Дорандаи нахустпатент: Умирзоков Ахмад Маллабоевич, Зарипов Асрор Азизович, Рахимов Баҳодур Ганиевич

Сарзамин: Чумхурии Точикистон

Муаллиф(он): Умирзоков Ахмад Маллабоевич, Зарипов Асрор Азизович, Рахимов Баҳодур Ганиевич

Аввалияти ихтироъ: 16.04.2025

Таърихи рӯзи пешниходи ариза: 16.04.2025

Аризаи №: 2502089

Дар Феҳристи давлатии ихтироъхои Чумхурии Точикистон 18 декабри с. 2025 ба кайд гирифта шуд

Нахустпатент эътибор дорад аз 16 апрели с. 2025 то 16 апрели с. 2035

ДИРЕКТОР Исмоилзода М.Х.